

Phys. sp.

155

sl

Phys. sp. 155 st

Cornelius, C. Seb.,

DEUTSCHLAND

MAGNETISM

MAGNETISM UND ELEKTRICITÄT

Dr. CARL SEEVERS

DIE LEHRE
VON
DER ELEKTRICITÄT
UND DEM
MAGNETISMUS.

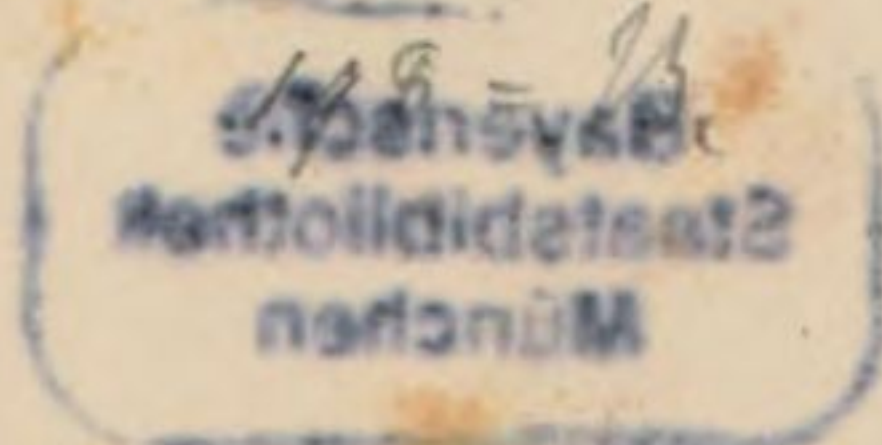
VERSUCH EINER THEORETISCHEN ABLEITUNG
DER GESAMMTEN
MAGNETISCHEN UND ELEKTRISCHEN ERSCHEINUNGEN.

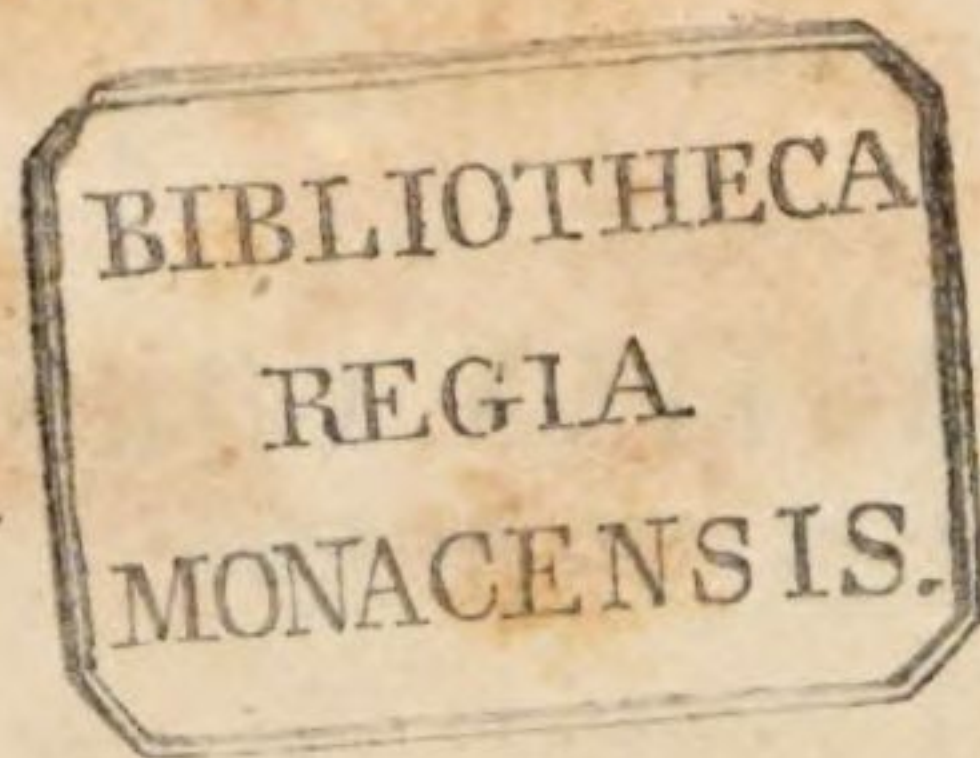
DB

VON
DR. CARL SEBASTIAN CORNELIUS
DOCENT A. D. UNIV. HALLE.

LEIPZIG
VERLAG VON OTTO WIGAND.

1855.





Vorwort.

Die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus besitzt ganze Systeme von Thatsachen, wodurch ein Versuch einer begriffsmässigen Erkenntniss derselben nicht allein gerechtfertigt, sondern auch wünschenswerth erscheinen dürfte. Treibt doch schon der empirische Zusammenhang dieser Erscheinungen zu gewissen theoretischen Vorstellungsweisen, die in Allen, welche sich demselben unbefangen und denkend hingeben, fast gleichartig hervortreten. Solche durch die Erfahrung selbst hervorgerufene Erklärungsgründe sind es wohl vorzugsweise, welche bis zu ihren äussersten Consequenzen verfolgt werden müssen, damit endlich die Wahrheit auf der einen oder anderen Seite zu Tage trete. So führen die elektrischen Erscheinungen mit einer gewissen Nothwendigkeit zur Vorstellung eines besonderen Fluidums. Im Hinblick auf den bekannten elektrischen Gegensatz hat man nun zu erforschen, ob dasselbe als gleichartig in sich oder als zusammengesetzt aus zwei entgegengesetzten Bestandtheilen zu denken ist. Die Erscheinungen der hydroelektrischen Kette dagegen begünstigen einen anderen Gedanken, nämlich den: dass hier die chemische Action das ursächliche Moment sei, und dass vielleicht die mit derselben verbundene oder ihr vorausgehende Molecularaction das Bedingende aller elektrischen Erscheinungen sein möge. Diese Ansichten, die eben erwähnte und

jene von einem besonderen Fluidum, haben beide, wenn auch nicht in demselben Masse, erfahrungsmässigen Grund und Boden. Beide stehen in extremster Weise einander gegenüber, und alle übrigen Meinungen, die zum Behufe der Erklärung besagter Erscheinungen etwa noch geäussert werden könnten, lassen sich auf die eine oder andere zurückführen. Welche von diesen Ansichten aber am meisten der Wirklichkeit entsprechen möge: diese Frage kann gewiss nur dadurch entschieden werden, dass man beide mit steter Rücksicht auf die gegebenen Thatsachen soweit als irgend möglich zur Darstellung bringt, und dabei das einmal aufgestellte Grundprincip consequent festhält.

Längere Zeit hindurch den elektrischen und magnetischen Erscheinungen zugethan, bot sich mir nun eine theoretische Ableitung derselben dar, die ich nachstehend dem Publikum vorlege. Die elektrischen Erscheinungen sind sämmtlich abgeleitet aus der Annahme besonderer Elemente, welche in ihrer Wechselwirkung mit den Massentheilen der Materie die besagten Erscheinungen bedingen. Die Grundansicht ist die Franklin'sche, die jedoch fast durchweg einer Umbildung und weiteren Entwicklung bedurfte. Herbart war es aber, der zuerst darauf hinzeigte, dass man die sogenannte negative Elektricität bei der Annahme eines einzigen elektrischen Fluidums eigentlich als die positive anzusehen habe. Der Magnetismus ist dagegen aufgefasst gewissermassen als eine inhärirende Eigenschaft der Materie, in so fern derselbe auf ein polares Verhältniss der kleinsten Massentheilen zurückgeführt wird, aus welchen die Körper zusammengesetzt sind. Der Erdmagnetismus resultirt hiernach natürlich aus der Gesamtwirkung aller magnetisirten Theilchen des Erdkörpers, deren Polarität aber möglicherweise veranlasst wird durch elektrische Ströme, welche die Erde in bestimmter Richtung durchfliessen. Man wird sehen, dass zwischen Elektricität und Magnetismus, obgleich sie nach unserer Theorie von einander unabhängig erscheinen, doch eine einfache Beziehung

besteht, so dass sie einander fast stets begleiten und sich gegenseitig hervorrufen müssen.

Die hier vorgebrachten theoretischen Darstellungen werden vielleicht nicht in allen Punkten einen gleichen Grad der Wahrscheinlichkeit beanspruchen können, aber eine gewisse naturgemässe Einfachheit, innern consequenten Zusammenhang und weitere Entwicklungsfähigkeit wird man wohl nicht an ihnen vermissen. Kaum aber bedarf es der Bemerkung, dass es zu ihrer vollständigen Beurtheilung erspriesslich sein wird, sie alle in ihrem gehörigen Zusammenhange zu durchmustern.

Der Titel dieser Schrift spricht von einer theoretischen Ableitung der gesammten magnetischen und elektrischen Erscheinungen, weil, wie ich glaube, keine der wichtigeren und für die Theorie bedeutsamen Erscheinungen ausser Acht gelassen worden ist. Doch fand ich keine Veranlassung, die sogenannte physiologische Elektrizität in das Bereich dieser Betrachtungen zu ziehen. Es erschien dies um so weniger nöthig, als die bisher in Pflanzen- und Thierorganismen wahrgenommenen elektrischen Erscheinungen, auch nach Du Bois-Reymond's ausführlichen Untersuchungen, sich mehr oder weniger präcis auf bekannte elektrische Verhältnisse zurückführen lassen, so dass sie denn auch mit diesen, abgesehen von rein physiologischen Vorgängen, derselben theoretischen Ableitung unterliegen werden.

Es sei hier erwähnt, dass ich einen Theil dieser theoretischen Ableitung bereits in dem physikalischen Lexicon, das jetzt in zweiter Auflage von mir herausgegeben wird, zur Darstellung gebracht habe. Dieselbe erscheint hier vollständiger bearbeitet und in ein Ganzes zusammengefasst. Diese Schrift ist jedoch nicht allein für Sachverständige, sondern für ein grösseres Publicum bestimmt. Damit dieselbe nun aus sich selbst verständlich werde, insbesondere aber um dem Bedürfniss derer entgegenzukommen, welche weniger in der Wissenschaft orientirt sind, habe ich dem Theoretischen meist

eine kurze Uebersicht des Thatsächlichen vorausgeschickt. Schliesslich sei mir aber noch die Bemerkung verstattet, dass man eine ausführliche Darstellung aller elektrischer und magnetischer Erscheinungen nebst Angabe der Literatur in den betreffenden Artikeln des genannten physikalischen Lexicons finden wird.

Halle, im März 1855.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniss.

Erstes Kapitel. Magnetische Fundamentalerscheinungen.

- Kurze Uebersicht des Thatsächlichen Seite 1 — 6.
- Theorie des Magnetismus S. 6 — 14.
- Wesen des Magnetismus S. 7.
- Magnetische Kraftlinien S. 8.
- Sogenannte Coërcitivkraft S. 9.
- Moleculare Veränderung bei dem Entstehen und Verschwinden des Magn. S. 10.
- Magnetisches Eisen ist kein mechanisch homogener Körper mehr S. 11.
- Unzerstörbarkeit des Magnetismus S. 11.
- Nothwendige Grenze für die Magnetisirung S. 11 ff.
- Verstärkung der magn. Polarität durch Einwirkung der Massentheilchen aufeinander S. 12.
- Eine besondere Art der magnetischen Vertheilung S. 13.
- Uebersicht der diamagnetischen Erscheinungen S. 15 — 20.

Zweites Kapitel. Elektrische Fundamentalerscheinungen.

- Darstellung einer der wichtigsten elektrischen Erscheinungen S. 21 — 28.
- Theorie der elektrischen Erscheinungen S. 29.
- Grundprincip S. 29 — 31.
- Freies Electricum auf der Oberfläche eines Körpers S. 31.
- Elektrischer Druck S. 31 ff.
- Process der elektrischen Vertheilung (Influenz) S. 32 — 43.
- Nichtleiter und Leiter S. 41 u. 42.
- Leidner Flasche S. 42.
- Entladungserscheinungen der Leidner Flasche und Batterie S. 44 — 47.
- Condensator S. 47.
- Elektrophor S. 49.
- Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche eines Leiters S. 52.
- Elektrische Anziehung und Abstossung S. 54.
- Wirkung der Spitzen S. 56.
- Elektrischer Verlust; elektrischer Rückschlag S. 57 ff.

- Geschwindigkeit der Elektrizität S. 58.
 Elektrischer Gegensatz beim Reiben verschiedenartiger Körper S. 63.
 Elektrisirmaschine S. 67.
 Elektrische Lichterscheinungen S. 69 — 73.
 Elektrische Figuren S. 73.
 Mechanische Wirkung des elektrischen Funkens S. 78.
 Berührungselektrizität S. 81.
 Theorie der galvanischen Erscheinungen S. 87.
 Entladungserscheinungen der galvanischen Kette und Batterie S. 89 — 94.
 Stärke des elektrischen Stromes (Ohm'sche Formel) S. 91.
 Thermoelektrizität S. 94.
 Elektrizität der atmosphärischen Luft S. 97.
 Elektrizität der Gewitter S. 100.
 Dualistische Ansicht der elektrischen Erscheinungen S. 104.

Drittes Kapitel. Wirkungen des elektrischen Stromes.

- Mechanische, Licht- und Wärmeeffekte S. 109 — 113.
 Chemische Wirkungen S. 113.
 Magnetische Wirkungen S. 124.
 Theorie der Wirkungen des elektrischen Stromes S. 135.
 Theorie der chemischen Wirkungen S. 137 — 141.
 Theorie der magnetischen Wirkungen S. 141 — 146.
 Theorie der Wärmeerregung des Stromes S. 147.
 Ampère's Theorie der magnetischen Erscheinungen S. 149.
 Faraday's Theorie der elektrischen Erscheinungen S. 153 — 172.

Viertes Kapitel. Elektrische Ströme durch Induction.

- Darstellung des Thatsächlichen S. 173 — 190.
 Theorie der elektrischen Inductionserscheinungen S. 191.
 Theorie der Grunderscheinungen S. 193.
 Wenn sich in der Inductionsspirale ein Eisenstab befindet S. 195.
 Unterschied zwischen eisernen Stäben und eisernen Drahtbündeln S. 196 ff.
 Theorie der diamagnetischen Erscheinungen S. 198.
 Elektrotonischer Zustand S. 199.
 Elektrische Molecularströme S. 201.
 Theorie der diamagnetischen Erscheinungen im Sinne der Ampère'schen Theorie des Magnetismus S. 202.

Erstes Kapitel.

Magnetische Fundamentalerscheinungen.

1. Die gewöhnlichsten Erscheinungen des Magnetismus bieten sich unserer Wahrnehmung dar, wenn man einem Magnetstabe kleine Eisentheilchen nahe bringt. Tauchen wir einen solchen Stab in Eisenfeile, so bleibt diese an ihm haften, indem sie an den Enden desselben lange Fäden bildet, welche auf seiner Oberfläche gewissermassen senkrecht stehen. Diese Fäden werden aber gegen die Mitte hin, wo sie sich derselben zuneigen, immer kürzer, und in der Mitte selbst hängen sich fast gar keine Eisentheilchen an. Eine ähnliche Erscheinung wird beobachtet, wenn man auf einen Magneten eine Glastafel oder ein etwas grosses Papierblatt legt und auf dieses durch ein Sieb Eisenfeile fallen lässt. Die letztere ordnet sich dann, wenn man schwach an das Blatt stösst, zu bestimmten regelmässigen Curven, die sich zum Theil von der einen Hälfte des Stabes zur anderen erstrecken.

Durch eine kleine Eisenkugel, die an einem biegsamen Faden befestigt ist, lässt sich nun leicht darthun, dass der Magnet eine Anziehung ausübt, die mit wachsender Entfernung abnimmt, und dem Anscheine nach durch die meisten Substanzen auf gleiche Weise hindurchwirkt, insofern man nämlich zwischen den Magneten und die Eisenkugel beliebige Stoffe (ausser Eisen etc.) bringen kann, ohne eine merkliche Veränderung der magnetischen Kraft wahrzunehmen. Auf demselben Wege gewahrt man aber auch, dass die Anziehung an verschiedenen Stellen des Magnets nicht von gleicher Stärke ist; sie erscheint in der Mitte am schwächsten, und nimmt von da nach den beiden Enden hin allmählig zu.

Ein Stückchen feinen Eisendrahtes, das in einer dünnen, mit einem Stiele versehenen Glaskugel eingeschlossen ist, stellt sich in der Nähe des Magnets an zwei entgegengesetzten Enden seiner Oberfläche senkrecht, während es in der Mitte horizontal liegen bleibt. Die eben erwähnten Stellen erscheinen nun zugleich als die Orte, an denen sich die Eisenfeile am stärksten anhäuft, und diese Punkte nennt man die Pole des Magneten. Eine Linie aber, welche man sich um die Mitte des letzteren gezogen denken kann, theilt denselben in zwei Hälften, die mitunter wohl auch schlechthin Pole genannt werden. Ueberdies versteht man unter dem Wort Pol noch einen fingirten Punkt im Innern des Magnets, der sich als Angriffspunkt der Resultirenden aller partialen Anziehungen des Magnets betrachten lässt, etwa so, wie man sich das Gewicht eines Körpers in seinem Schwerpunkte vereinigt denkt. Solcher Punkte gibt es hier auch zwei, die in einem gewissen Abstände von den Enden des Magnets liegen. Es ist nun ein fundamentales Factum, dass jeder Magnet wenigstens zwei Pole, und in seiner gewöhnlichen Erscheinung noch eine Mittellinie (Indifferenzlinie) hat, worin seine Kraft (nach Aussen) am schwächsten ist.

2. Man hänge einen Magnetstab an einem Faden so auf, dass er frei beweglich in einer horizontalen Ebene schwebt, und nähere hierauf einem jeden seiner Pole n und s denselben Pol eines anderen Magneten. Der eine Pol, vielleicht n , wird dann angezogen, der andere s hingegen abgestossen werden. Die Pole n und s wirken also in verschiedenartiger Weise auf denselben Pol des anderen Magneten ein, so dass zwischen ihnen ein gewisser Gegensatz besteht. Nähert man nun auch den anderen Pol des zweiten Magneten nach einander den Polen n und s , so wird umgekehrt n abgestossen und s angezogen werden, woraus folgt, dass auch die Pole des zweiten Magneten von entgegengesetzter Beschaffenheit sind. Und ganz so verhält es sich auch mit den Polen eines jeden anderen Magneten. Da also die gleichnamigen Pole zweier Magnete sich abstossen, während die entgegengesetzten oder ungleichnamigen Pole sich anziehen, so werden zwei bewegliche Magnete, falls sie einander nahe genug sind, sich immer so richten, dass ihre ungleichnamigen Pole einander zugekehrt sind.

3. Es ist eine bekannte Sache, dass eine frei bewegliche, in einer horizontalen Ebene schwebende Magnetnadel immer, wo sie

sich auch befinden mag, eine bestimmte Stellung annimmt, in die sie stets wieder zurückkehrt, so oft man sie daraus entfernt. Diese Erscheinung hat man als die Wirkung einer äusseren und zwar magnetischen Kraft erkannt, da eine unmagnetisirte Nadel nichts dem Aehnlichen zeigt. Das nach Norden gerichtete Ende der Nadel wird gewöhnlich Nordpol, das andere Südpol genannt. Die vertikale Ebene aber, welche man sich durch die Richtung einer horizontalen Nadel gelegt denken kann, nennt man den magnetischen Meridian, und den Winkel, welchen dieser mit dem geographischen Meridian des Orts bildet, die Abweichung oder Declination der Nadel. Ist die Magnetnadel überdies in ihrem Schwerpunkte aufgehängt, so dass dieselbe sich zugleich um eine horizontale Axe drehen kann, so bemerkt man noch, dass ihr Nordpol sich unter die Horizontalebene herabsenkt und mit dieser einen Winkel macht, den man ihre Neigung (Inclination) nennt. Diese letztere wird um so grösser, je mehr man nach Norden kommt, so dass die Nadel endlich an einem bestimmten Punkte eine senkrechte Stellung annimmt. Dagegen wird die Inclination um so geringer, je weiter man von Nord nach Süd wandert. In der Aequatorialzone gelangt man zu einem Punkte, wo die Inclination ganz verschwindet und die Nadel also eine vollkommen horizontale Lage annimmt. Weiter nach Süden hin erscheint jedoch die Inclination wieder, jetzt ist es aber das nach Süden gekehrte Ende, welches hinabsinkt, und zwar um so tiefer, je mehr man nach Süden hin fortschreitet, so dass man endlich auf einen zweiten Punkt treffen muss, an dem sich die Nadel vertikal stellt. Wenn man nun in der Aequatorialzone alle Punkte, in denen die Nadel sich horizontal stellt, d. h. alle Orte ohne Inclination durch eine Linie miteinander verbindet, so erhält man den magnetischen Aequator der Erde, der aber nicht mit dem gewöhnlichen Erdäquator zusammenfällt, sondern eine Linie von doppelter Krümmung bildet, welche den letztgenannten in zwei Punkten durchschneidet. Sonst nennt man auch jede auf den magnetischen Meridian oder gegen die Richtung der Inclinationsnadel senkrechte Ebene, einen magnetischen Aequator. Auf Grund der angeführten Erscheinungen haben wir nun die Erdkugel selbst als einen magnetischen Körper zu betrachten, der auf einen Magneten eben so wirkt, wie ein grösserer Magnet auf einen kleineren. Und man beobachtet in der That ganz ähnliche Erscheinungen, wenn man eine kleine, an einem Faden hängende

Magnetnadel über einen grösseren Magnetstab hinwegführt. In der Mitte zwischen beiden Polen des Stabes hat sie eine horizontale Lage, weiter darüber hinaus senkt sich aber der eine oder andere Pol derselben herab.

Declination und Inclination, an verschiedenen Orten von ungleicher Grösse, unterliegen auch an einem und demselben Orte fortwährenden Veränderungen, die theils regelmässig, theils unregelmässig sind. Aehnliches gilt von der Intensität des Erdmagnetismus, die im Allgemeinen von den wärmeren nach den kälteren Gegenden hin zunimmt.

Nach den Untersuchungen von Gauss lässt sich die erdmagnetische Kraft als die Gesamtwirkung aller magnetisirter Theilchen des Erdkörpers betrachten, welche auf jeden Punkt im Raume eine bestimmte anziehende und abstossende Wirkung ausübt. Diese Wirkung ist von einem Punkte zum anderen veränderlich, so dass sie als eine Function der geographischen Länge und Breite des Punktes an der Erdoberfläche erscheint. Die Kraft des Erdmagnetismus ist aber etwa so gross, dass sie der vereinigten Wirkung von acht einpfündigen Magnetstäben in jedem Cubikmeter der Erde gleichgesetzt werden kann.

Die magnetische Gesamtwirkung der Erde auf eine in ihrem Schwerpunkte frei bewegliche Magnetnadel erscheint nur als eine richtende Kraft; die Nadel nimmt durch Drehung eine bestimmte Lage an, ohne sich nach Norden zu bewegen. Sämmtliche magnetische Partialwirkungen, welche die Erde auf die Nadel ausübt, lassen sich nämlich, falls die Länge der letzteren gegen die Dimensionen der Erde verschwindet, auf zwei gleiche, parallele, der Wirkungsrichtung nach aber entgegengesetzte Kräfte reduciren, von denen die Nadel an ihren Enden angegriffen wird. Daraus kann aber gewiss nur eine bestimmte Drehung der Nadel um ihren Schwerpunkt resultiren, so dass die Nadel sich in der Gleichgewichtslage befindet, wenn die Verbindungslinie ihrer Pole (die magnetische Axe) mit der Richtung jener Kräfte zusammenfällt. Diese Lage ist nun gerade die, welche eine gewöhnliche Inclinationsnadel durch die Einwirkung des Erdmagnetismus annimmt.

4. Wenn man einen kleinen Cylinder aus weichem Eisen, z. B. ein Stück eines Eisendrahtes, mit einem Magneten in Berührung bringt, so wird er von diesem bekanntermassen durch Anziehung

festgehalten. Wird nun der Cylinder in Eisenfeile getaucht, so lagert sich diese in ähnlicher Weise um ihn, wie um einen vollständigen Magneten. Der Cylinder verräth alle Eigenschaften eines Magneten, aber nur so lange, als er mit dem Hauptmagneten in Berührung bleibt; reißt man ihn vom letzteren los, so verliert er alle anziehende Kraft, und die Eisenfeile fällt ab. Bringt man aber mit dem kleinen Cylinder, während er noch am Magneten hängt, einen zweiten in Berührung, so bleibt auch dieser hängen, der wieder einen dritten tragen kann, u. s. w. So lässt sich eine Kette bilden, deren einzelne Glieder vollständige Magnete sind, die aber sofort auseinander fällt, wenn man den ursprünglichen Magneten hinwegnimmt. Das Eisen wird also unter dem Einflusse eines Magneten selbst magnetisch, und zwar dergestalt, dass sein dem Nordpol des letzteren zugekehrter Theil einen Südpol, der andere Theil dagegen einen Nordpol erhält. So werden auch die Theilchen der Eisenfeile durch einen Magneten magnetisirt, und die magnetisch gewordenen Theilchen hängen sich in der Art aneinander, dass der Nordpol (positive Pol) des einen dem Südpol des anderen gegenüberliegt. Auf diese Weise entstehen denn auch die magnetischen Curven, die wir bereits in Erwähnung gebracht haben. Dies ist nun das Gesetz der magnetischen Vertheilung. Unmittelbare Berührung ist aber hierbei nicht nöthig, sondern es genügt, wenn man das Eisen auf eine bestimmte Entfernung dem Magneten nähert. Wird jedoch das erstere wieder hinlänglich weit entfernt, so verliert es allen Magnetismus, den es durch die Einwirkung des Magneten angenommen hatte. Eben so wie Eisen verhält sich Stahl, nur dass er für die magnetische Einwirkung weniger empfänglich ist als weiches Eisen, das den Magnetismus leicht annimmt. Dagegen kann aber der Stahl durch längere Berührung mit dem Magneten, oder wenn man ihn mit diesem öfter in derselben Richtung streicht, dauernd magnetisch werden, so dass er selbst nach Jahren noch seine Indifferenzlinie und seine beiden Pole zeigt. Dem Widerstande, welchen der Stahl anfänglich der magnetischen Einwirkung entgegensetzt, hat man einen besonderen Namen gegeben. Man nennt ihn *Coërcitivkraft*, die im weichen Eisen nur gering, beim gehärteten aber schon stärker ist.

Mit einem einzigen Magneten kann man nun beliebig viele Eisen- oder Stahlstücke magnetisch machen, ohne dass er das Geringste an magnetischer Kraft verliert. Es hat sich im Gegentheil für die Kräf-

tigung des in ihm vorhandenen Magnetismus als vortheilhaft erwiesen, ihn mit Eisen auf passende Weise in dauernder Berührung zu lassen.

Man hat auch Magnete aus gut gehärtetem Stahl, der sich wie Glas brechen lässt. Zerbricht man nun einen solchen Magneten so oft als man will in kleinere Stücke, so zeigt doch jedes Stück wieder dieselbe Polarität wie vorher der ganze Magnet. Es ist unmöglich, einen Magneten zu bilden, der nur einen Pol besitzt. Dasselbe gewahrt man bei der magnetischen Vertheilung. Ein Eisendraht, welcher durch Berührung mit dem einen Pol eines Magnetstabes magnetisirt worden, hat bekanntlich an seinen beiden Enden entgegengesetzte Pole. Schneidet man nun von diesem Drahte beliebig viele Stücke ab, so wird das mit dem Magnetpole in Verbindung bleibende Stück doch immer wieder einen vollständigen Magneten darstellen.

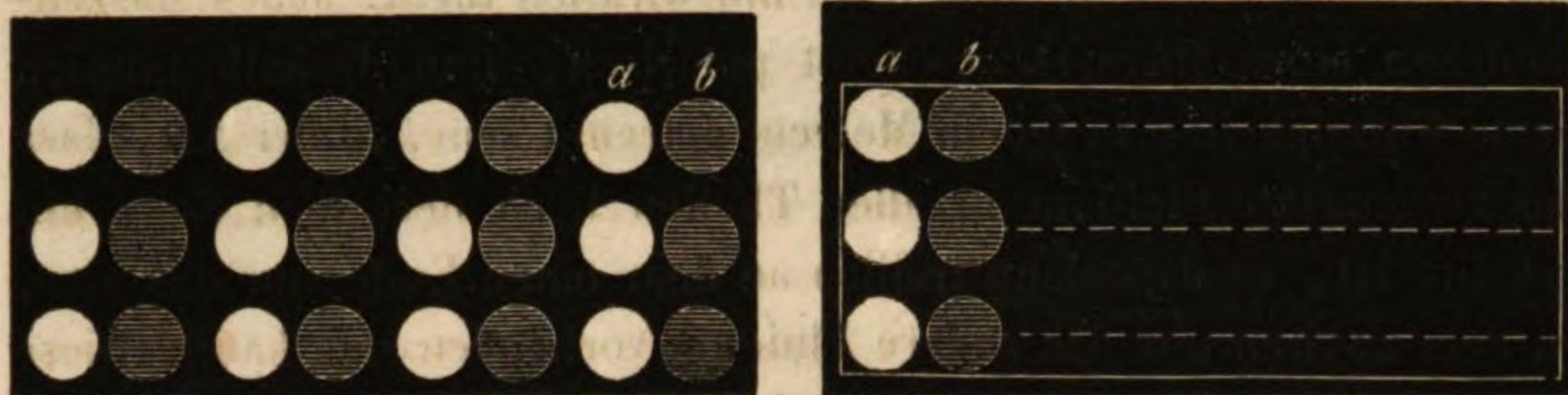
5. Die bisher angeführten magnetischen Erscheinungen zeigen nun ganz evident, dass nicht irgend ein Fluidum, worin der Magnetismus seinen Grund haben könnte, zum Eisen übergeht. Man nimmt gewöhnlich zur Erklärung der magnetischen Erscheinungen zwei entgegengesetzte Fluida an, deren Theilchen sich abstossen und die der anderen Flüssigkeit anziehen sollen. Diese Flüssigkeiten dürfen aber bekanntlich nicht vom Magneten auf das Eisen übergehen, weil dann das letztere auch nach seiner Hinwegnahme vom Magneten noch eine Spur von Magnetismus verrathen müsste, was aber nicht der Fall ist. Denn wenn man das vom Magneten abgewendete, magnetisch gewordene Ende eines weichen Eisendrahtes abschneidet, so zeigt es sich unmagnetisch. Auch müsste in dem Falle eines Ueberganges jener Flüssigkeiten eine Erschöpfung des Magneten eintreten, während doch im Gegentheil seine Stärke durch längere Berührung mit dem Eisen gesteigert wird. Da endlich das Eisen, so lange es unter dem Einflusse des Magneten steht, zwei Pole und eine Indifferenzlinie hat, so müssen in ihm selbst beide Flüssigkeiten vorhanden sein; und doch könnte es im Grunde nur eine Flüssigkeit enthalten, wenn bei der Einwirkung des Magneten wirklich etwas von diesem auf das Eisen übergegangen wäre. Jeder gewöhnliche Magnet zeigt ferner von seiner Mitte gegen die beiden Enden hin einen Gegensatz hinsichtlich der Wirkung. Dies könnte zu der Meinung veranlassen, dass an dem einen Pol vorzugsweise die eine, an dem anderen

vorzugsweise die andere Flüssigkeit angehäuft sei, was jedoch nicht möglich ist, weil jede Hälfte eines Magneten wieder einen vollständigen Magneten darstellt, wenn man ihn wirklich theilt. Jedes Massentheilchen eines Magnets erscheint polarisch, und deshalb müssen beide Flüssigkeiten in jedem Molecül getrennt sein, in der Art, dass das gleichartige Fluidum in allen Theilen nach derselben Seite hin gekehrt ist, so dass dann freilich an dem einen Ende nur das eine, an dem zweiten nur das andere Fluidum vorhanden sein kann. Diese Flüssigkeiten können also, falls ihre Annahme nicht mit den That- sachen in Widerspruch gerathen soll, anerkanntermassen weder vom Magneten auf's Eisen, noch von einem Molecül auf das nächste über- gehen. Beide Flüssigkeiten, die im gewöhnlichen Stahl und Eisen, und zwar in jedem Molecül miteinander verbunden sind, werden dann durch die Einwirkung eines Magneten so von einander getrennt, wie dies in dem letzteren schon geschehen ist.

Wir haben nun hier, indem wir uns dem Eindruck der That- sachen offen hingeben, festzuhalten, dass die magnetischen Funda- mentalerscheinungen zunächst nur auf einen polaren Zustand der kleinsten Massentheilchen oder Molecüle eines sogenannten Mag- neten hinweisen. Dieser polare Zustand ist also das charakteristische Kennzeichen der sogenannten magnetischen Körper, und hierauf ge- stützt ziehen wir den Schluss, dass der Magnetismus seinen Grund in der Constitution der betreffenden Körper selber habe. Den Ein- klang dieser Vorstellungsweise mit den Erscheinungen darzuthun dient das Nachstehende.

6. Denken wir uns einen Körper mit Massentheilchen, welche zwei entgegengesetzte Bestandtheile enthalten und eine Anordnung zulassen, wie umstehende Figur zeigt, so haben wir einen vollstän- digen Magneten mit seiner Polarität; und es ist hier gerade die Form oder vielmehr die Anordnung der Theilchen die Ursache von neuen in die Ferne wirkenden Kräften. Ob dieser polare Zustand eine unmit- telbare Wirkung in die Ferne äussert, können wir hier wohl dahin gestellt sein lassen, doch erinnern wir, dass man dieselbe wahrschein- licher Weise den Elementen des Aethers zuschreiben kann, den man aus mehr als aus einem Grunde um die Theilchen der Körper und in den Räumen zwischen den letzteren annimmt. Der Aether steht nun mit einem jeden der Bestandtheile a und b in Verbindung, und der Gegensatz zwischen diesen Bestandtheilen überträgt sich auf die Ele-

mente des Aethers, von dem sie eingehüllt werden. Diese Uebertragung geht in doppelter Reihe in die Umgebung des Magneten fort,



indem sowohl von den Bestandtheilen *b* als auch von den Bestandtheilen *a* eine Reihe von Wirkungen ausgeht, die stets miteinander fortlaufen. Man kann nun diese Wirkungslinien, wenn man will, ganz passend „magnetische Kraftlinien“ nennen, ein Ausdruck, der auch schon öfter gebraucht worden ist.

Ist ein Stück Eisen in der Nähe des Magneten, so werden die Bestandtheile *b* des letzteren mittelst des Aethers die entgegengesetzten Bestandtheile des Eisens anziehen, die gleichartigen dagegen zurückstossen, so dass also vom Magneten ein Bestreben ausgeht, eine ihm entsprechende Anordnung der Theilchen im Eisen herzustellen, worin dann eben die sogenannte magnetische Vertheilung besteht. Hierbei findet nun natürlich eine mehr oder weniger beträchtliche Richtungsänderung bezüglich der Molecüle des Eisens statt, und demgemäss auch eine Spannung zwischen den elementaren Bestandtheilen, welche in ihrer Verbindung mit einander jene Massentheilchen oder Molecüle bilden. Diese anomale Spannungen erleiden die Bestandtheile der Molecüle gemäss der Richtung, in welcher ein Magnet auf sie wirkt; sie verliert sich, sobald der magnetische Einfluss entfernt oder auch die Eisenstange umgekehrt wird. Im letzteren Falle wird die Veränderung in Hinsicht auf die Richtung der Bestandtheile natürlicher Weise die entgegengesetzte, so dass die Pole einen Wechsel erfahren. Der magnetische Zustand der Körper ist hiernach ein gewisser Zwangszustand, abweichend von dem gewöhnlichen, in welchem die Bestandtheile mehr im Zustande der Indifferenz oder Neutralisation verharren. Die Massentheilchen sind nämlich im gewöhnlichen Zustand wahrscheinlich so gruppirt, dass sie ein Minimum gegenseitiger Spannung erleiden, was wohl nur dann stattfinden kann, wenn ihre ungleichartigen Bestandtheile so weit als möglich allseitig einander zugekehrt sind. Diese Bedingung ist aber im magnetischen

Zustande nur nach einer Seite hin erfüllt, und zwar bei einem gewöhnlichen Magneten nach der Richtung seiner Längsaxe, während senkrecht gegen diese Richtung die gleichartigen Bestandtheile eine gegenseitige Abstossung ausüben.

7. Die sogenannte Coërcitivkraft ist nun nichts anderes, als der Widerstand, welchen die mit einander verbundenen Bestandtheile der Massentheilchen jener Spannung entgegensetzen, und hieraus erklärt sich die Bedeutung, welche der Unterschied der Härte oder Weichheit des Eisens in Hinsicht auf die Empfänglichkeit für den Magnetismus hat. Weiches Eisen lässt sich jene Spannung gefallen, ohne beträchtlichen Widerstand zu leisten, und aus demselben Grunde kehren seine Molecüle, nach Wegfall des magnetischen Einflusses, wieder leicht in ihre vorige Stellung zurück. Das Gegentheil geschieht beim Stahl; hier dauert es länger, ehe seine Massentheilchen die den Magnetismus bedingende Stellung erlangen, haben sie aber die letztere einmal gewonnen, so behalten sie dieselbe auch länger bei.

Es ist bekannt, dass Schlagen, Hämmern, Reiben, Bohren etc. das Entstehen des Magnetismus begünstigen, den schon vorhandenen aber auch schwächen können. Dies Alles nun sind ohne Zweifel Gelegenheiten für die Bestandtheile der Molecüle, eine besondere Stellung entweder anzunehmen oder zu verlieren. Wenn nämlich ein Eisenstab dem magnetischen Einflusse ausgesetzt ist, so sucht der letztere, wie oben gezeigt, den Massentheilchen des ersteren die den Magnetismus bedingende Richtung zu ertheilen, was gewiss durch eine Erschütterung der Massentheilchen begünstigt werden kann. Da jedoch die Elemente der polaren Molecüle stets in ihre gewöhnliche Gleichgewichtslage zurückstreben, so kann diesem Bestreben gleichfalls eine Erschütterung oder dergl. zu Hilfe kommen, falls nicht die erregende Ursache mit hinreichender Stärke fortwirkt. Man weiss ferner, dass die magnetischen Körper durch Erhöhung der Temperatur ihren Magnetismus zum Theil verlieren, und dem Anschein nach ganz unmagnetisch werden, wenn sie über eine gewisse Grenze hinaus erhitzt werden. Andererseits will man aber bemerkt haben, dass ein Eisenstab einen mehr als gewöhnlich starken Magnetismus annimmt, wenn man ihn während des Magnetisirens rothglühend erhält, und dann schnell abkühlt. Die Wärme scheint daher die Empfänglichkeit des Eisens für den Magnetismus bis zu einem

gewissen Masse zu erhöhen, während sie die schon vorhandene magnetische Kraft schwächt, so dass dieselbe also ähnlich wie jene mechanischen Ursachen, je nach den Umständen entgegengesetzte Wirkungen hervorbringt. Wenn man nämlich die Temperatur des Eisens bis zu einem gewissen Masse erhöht, so werden die Massentheilchen beweglicher und gegen äussere Einflüsse nachgiebiger, und ihre Elemente sind dann eher fähig, diejenige Stellung anzunehmen, bei welcher der Magnetismus zu Tage tritt. Diese Lage wird durch plötzliche Abkühlung fixirt, namentlich wenn der magnetische Einfluss während der Erkaltung des Eisens noch fort dauert. Umgekehrt verhält es sich, wenn ein Magnet allmählig erwärmt wird; die Spannung zwischen den Elementen der polaren Massentheilchen wird vermöge ihrer zunehmenden Beweglichkeit geringer, so dass sie dann in die gewöhnliche Lage, wo sie ohne Magnetismus sind, theilweise zurückkehren. Die Thatsache, dass ein Magnet an Kraft verliert, wenn er ungebraucht liegt, setzt gleichfalls eine Abweichung von der gewöhnlichen Lage der Molecüle voraus, welche nun allmählig, sofern nicht ein neuer magnetischer Einfluss stattfindet, verschwindet. Dagegen gewinnt ein Magnet an Kraft, wenn er durch ein Gewicht mittelst eines Ankers belastet und dieses nach und nach vermehrt wird. Denn das Gewicht, indem es beständig herabzufallen strebt, zieht an den Elementen der polaren Molecüle, welche dasselbe vermöge ihrer Einwirkung auf die Theilchen des Ankers festhalten. Hierdurch wächst die anomale Spannung zwischen den Elementen und mit ihr der Magnetismus selbst, indem die ungleichartigen Elemente (Atome) in grösserer Masse einander zugekehrt werden. Reisst aber das Gewicht los, so lässt die Spannung nach, die Molecüle dehnen sich zum Theil in die gewöhnliche Lage zurück und der Magnetismus nimmt ab. Das Abfallen des Gewichtes wirkt hier (bezüglich der Molecüle) gewissermassen ähnlich, wie das Loslassen einer gespannten Feder. Dass nun das Magnetischwerden des Eisens von einer Bewegung der Molecüle begleitet ist, wird durch bestimmte Thatsachen bezeugt. So fand unter Andern Page, dass ein Eisenstab unter gewissen Umständen tönt, wenn er die magnetische Polarität annimmt und verliert; und Broda und Greve haben dargethan, dass das Eisen sich merklich erwärmt, wenn es in rascher Abwechselung magnetisirt und entmagnetisirt wird, was gleichfalls ganz entschieden auf eine Bewegung der Atome hinweist. Wenn aber der Magnetis-

mus in der angegebenen Weise auf einer polaren Erregung der kleinsten Massentheilchen beruht, so kann magnetisches Eisen wohl nicht füglich mehr einen mechanisch homogenen Körper darstellen; was auch Versuche von Wertheim wahrscheinlich gemacht haben.

8. Sollte der Magnetismus an einem magnetischen Körper gänzlich aufgehoben werden, so müssten die Molecüle des letztern in ihre ungleichartigen Bestandtheile zerlegt werden. So lange dies nicht geschieht, kann man den Magnetismus fast nach Belieben zerstören und wiedererzeugen. Erhitzt man einen Magneten bis zum Weissglühen, so kann er wohl seine magnetischen Eigenschaften, nicht aber seine Molecüle verlieren, deren wesentliche Natur unverändert bleibt. Nur die Anordnung der Atome (Elemente) der Molecüle ist eine andere geworden. Stellt man die den Magnetismus bedingende Anordnung der Atome wieder her, so kommt derselbe auch wieder zum Vorschein. Und Faraday hat wirklich durch Anwendung sehr starker Magnete gefunden, dass die Körper ihre Empfänglichkeit für die magnetische Einwirkung durch fortgesetzte Erhitzung niemals ganz verlieren.

Nach der dargelegten Ansicht enthält jede Art von Materie das magnetische Princip, d. h. die Bedingung zur Entstehung des Magnetismus in sich, insofern nämlich als dieselbe Massentheilchen enthält, welche aus zwei entgegengesetzten Bestandtheilen zusammengesetzt sind. Soll aber die magnetische Polarität wirklich hervortreten, so ist noch die besondere, bereits angegebene Anordnung dieser Bestandtheile nothwendig, und viele Körper können bloß um deswillen unmagnetisch erscheinen, weil diese Anordnung sich unter den gewöhnlichen Umständen nicht herstellen lässt.

9. Der magnetische Zustand der Materie besteht also in einer gewissen gezwungenen Abweichung der Massentheilchen aus ihrer gewöhnlichen Gleichgewichtslage, dergestalt, dass die ungleichartigen Elemente dieser Theilchen nach entgegengesetzten Richtungen bis zu einem gewissen Betrage auseinandertreten. Je stärker dieses Auseinandertreten ist, und je mehr in Folge dessen die ungleichartigen Bestandtheile je zweier Massentheilchen einander zu-, die gleichartigen aber von einander abgekehrt sind, desto kräftiger wird die magnetische Polarität hervortreten. Hiernach gibt es aber für die Magnetisirung eines Körpers eine nothwendige Grenze, die nicht überschritten werden kann, wenn auch der Körper immer stärker

magnetisirenden Einflüssen ausgesetzt wird. Haben nun die Massentheilchen eines Körpers, vermöge eines äusseren magnetischen Einflusses, die den Magnetismus bedingende Lage bis zu einem bestimmten Grade angenommen, so findet kraft der gegenseitigen Einwirkung der einzelnen Theilchen auf einander eine Verstärkung der magnetischen Polarität in ihnen statt, aber nicht für jedes in derselben Masse.

Die nebenstehende Figur bezeichne eine Reihe magnetischer Stahltheilchen, in denen der Magnetismus gleich stark entwickelt sein mag. Nun besteht zwischen I und allen übrigen ein wechselseitiger Einfluss, der aber natürlich mit wachsender Entfernung abnimmt. Betrachten wir die beiden nächsten Theilchen I und II, so bestehen,

zwischen a und a_1 und ebenso zwischen b und b_1 Repulsionen, die jedoch, da sie von gleicher Grösse sind und in entgegengesetztem Sinne geschehen, keine Wirkung hervorbringen.

Daneben existiren Anziehungen zwischen a und b_1 und zwischen b und a_1 , von denen die letztere stärker als die erstere ist. Hierdurch wird nun eben ein weiteres Auseinandertreten sowohl der Bestandtheile a und b , als auch der Elemente a_1 und b_1 bewirkt, was denn eine Steigerung der magnetischen Polarität in I und II zur Folge hat. Derselbe wechselseitige Einfluss findet auch zwischen II und den folgenden Massentheilchen statt, nur wegen der geringeren Entfernung in noch etwas stärkerer Masse, während II in der angegebenen Weise zugleich der Einwirkung von I ausgesetzt ist. Es ist nun leicht ersichtlich, dass die magnetische Polarität von II stärker als die von I sich entwickeln wird, und diejenige von III wieder beträchtlicher als die von II. Demnach ist a_1 stärker als b , und a_2 mächtiger als b_1 . Von den Massentheilchen IV und V gilt dasselbe, wie von I und II, nur mit dem Unterschiede, dass a_3 kleiner als b_2 , und a_4 geringer als b_3 ist. Geht man nun von dem mittelsten Massentheilchen III aus, so werden die Kraftlinien von a_2 in die Kraftlinien von b_1 eingreifen und dieselben vollständig binden, während sie selbst, da das Uebergewicht auf ihrer Seite ist, nur theilweise gebunden werden. Dasselbe ereignet sich zwischen a_1 und b , während die freie Wirksamkeit von a ungeschmälert bleibt. Geht man aber von dem Massentheilchen III nach der entgegengesetzten Seite fort, so erscheint das



Uebergewicht auf Seiten der b , welche einestheils frei nach Aussen wirken, anderntheils aber die Kraftlinien von a vollständig binden. Dies geht so fort bis zum äussersten Element b_4 , das seine volle Wirksamkeit nach Aussen behält. So kommt es nun, dass von der Mitte aus auf der einen Seite die Kraftlinien von a , auf der andern hingegen die von b eine freie Wirksamkeit üben, oder dass der Erfahrung gemäss, auf der einen Hälfte der Nord- und auf der andern der Südmagnetismus vorherrscht. Ein wirklicher Magnetstab ist aber ein Inbegriff solcher elementarer Magnete, und jeder Pol desselben ist der Punkt, durch welchen die Resultirende aller gleichartigen magnetischen Kraftlinien der einen Hälfte hindurchgeht. Nach dem Vorstehenden ergibt sich aber auch leicht, dass dieser Punkt nicht an dem Ende selbst, sondern nur in einem gewissen Abstände von demselben liegen kann.

10. Die magnetische Polarität eines Massentheilchens tritt also um so entschiedener hervor, je weiter dessen ungleichartige Bestandtheile nach entgegengesetzten Richtungen auseinandertreten; und der Grad dieses Auseinandertretens bestimmt das magnetische Moment des Theilchens. Bei einem gleichmässig magnetisirten Stabe, wie wir ihn eben betrachtet haben, nimmt das magnetische Moment der einzelnen Massentheilchen von den beiden Enden nach der Mitte hin zu. Da aber die Kraftlinien der einander zugekehrten ungleichartigen Bestandtheile sich in der angegebenen Weise binden, so wird der freie Magnetismus in der Mitte verschwindend klein, während er von hier nach den beiden Enden hin zunimmt. Das magnetische Moment eines endlichen Magnetstabes ist aber bekanntlich gleich dem Producte aus der Entfernung seiner Pole in die Quantität des in jedem Pol enthaltenen Magnetismus.

A. van Rees*) hat auf eine besondere Art magnetischer Vertheilung hingewiesen, welche stattfindet, wenn das eine Ende eines Eisenstabes von dem Pole eines Magnets berührt wird. Der Stab zeigt dann längs seiner Oberfläche denselben freien Magnetismus wie der anliegende Magnetpol.

Um diesen Fall auf Grund der dargelegten Theorie zu beleuchten, betrachten wir einen Eisenstab, der dem vertheilenden Einflusse eines Magnetpols ausgesetzt ist; die Entfernung des letzteren sei

*) Pogg. Ann. Bd. 74 S. 213.

aber anfänglich so gross, dass dagegen die Länge des Stabes sehr klein ist. Alle Massentheilchen längs des Stabes (s. Fig. S. 12) werden dann eine fast gleich starke magnetische Einwirkung erleiden, und in Folge der Verstärkung, welche die magnetische Polarität durch die bekannte Wechselwirkung der einzelnen Theilchen erfährt, wird der Stab an beiden Enden freien Magnetismus entgegengesetzter Art und in der Mitte eine neutrale Zone zeigen. Rückt aber der Magnetpol merklich näher, so wirkt er auf die ihm zunächst zugekehrten Massentheilchen des Stabes stärker, als auf die entfernteren; die dem Pole ungleichartigen Kraftlinien des Eisens werden von ihm stärker gebunden, während die gleichartigen frei bleiben, und so erlangen die letzteren auf einer grösseren Strecke des Stabes das Uebergewicht, oder, was dasselbe ist, die neutrale Zone rückt mehr dem Ende zu, welches dem vertheilenden Einflusse des Poles zuvörderst ausgesetzt ist. Kommt endlich der Magnetpol mit dem einen Ende des Eisenstabes in unmittelbare Berührung, so kann die vertheilende Wirkung des ersteren das volle Uebergewicht erlangen über die Verstärkung, welches aus der wechselseitigen Einwirkung der Massentheilchen resultirt und zur Folge hat, dass das grösste magnetische Moment in den mittleren Theil des Stabes fällt. Da der Magnetpol auf die ihm zunächst gelegenen Theilchen stärker als auf die entfernteren wirkt, so erhalten die ersteren ein grösseres magnetisches Moment als die letzteren, und es wird darum auch, wenn man vom berührenden Magnetpole nach der Mitte des Stabes hinschreitet, der eine Bestandtheil *b* des vorhergehenden Massentheilchens das ihm zugekehrte ungleichartige Element *a* des folgenden Theilchens in seiner Wirkung neutralisiren, während er selbst noch einen gewissen Antheil freier Wirksamkeit behält. Dies geht so von einem Theilchen zum anderen fort, und es ist nun ersichtlich, dass nur die dem anliegenden Magnetpol gleichartigen Magnetkraftlinien frei nach Aussen wirken können, indem die ungleichartigen Kraftlinien durch den Magnetpol vollständig gebunden sind. Der Eisenstab wird also seiner ganzen Länge nach freien Magnetismus von derselben Art zeigen, wie der vertheilend wirkende Magnetpol.

11. A. Brugmanns machte bereits im Jahre 1778 die Wahrnehmung, dass das Wismuth von den beiden Polen eines starken Magnets abgestossen wird. Dieselbe Abstossung beobachtete nachher auch Becqueret sen. nicht allein am Wismuth, sondern auch

am Antimon. Faraday fand aber in neuerer Zeit, bei Anwendung sehr starker Magnete, wie solche durch galvanische Ströme erzeugt werden können, dass der Magnetismus auf alle Substanzen eine mehr oder weniger beträchtliche Wirkung verschiedener Art ausübt. Die Körper zerfallen hiernach in zwei Klassen, je nachdem sie nämlich von den beiden Magnetpolen entweder angezogen oder abgestossen werden. Die angezogenen Körper gehören zur Klasse der magnetischen, die abgestossenen nennt man aber nach Faraday's Vorschlag diamagnetische Körper. Zu den ersteren kann man ausser Eisen, Nickel, Kobalt noch rechnen Mangan, Chrom, Titan, Cerium, Platin, Palladium, Osmium, Aluminium, Beryllium und Silicium, deren Magnetismus jedoch so gering ist, dass er eben nur durch sehr kräftige Erregungsmittel zu Tage tritt. Die meisten übrigen Substanzen, sie mögen nun starr, tropfbarflüssig oder gasförmig sein, sind diamagnetisch, insofern sie von den Polen des Magnets eine Abstossung erleiden.

Wenn man nun einen Körper mit vorherrschender Länge zwischen den beiden Polen eines hufeisenförmigen Magnets an einem Faden so aufhängt, dass die Verbindungslinie beider Pole mit der Längenrichtung des Körpers einen spitzen Winkel macht, so wird der Körper, falls er magnetisch ist, sich längs der Verbindungslinie beider Pole richten, indem zwischen ihm und den letzteren gegenseitige Anziehung stattfindet. Diese Stellung nennt man die axiale. Hängt man aber ebenso statt des magnetischen einen diamagnetischen Körper auf, z. B. ein Stäbchen aus Wismuth, so stellt sich dasselbe in Folge der Abstossung zwischen ihm und den Magnetpolen winkelrecht gegen die Verbindungslinie der letzteren. Und diese Stellung nennt man die äquatoriale. Die magnetischen Körper stellen sich also unter den angegebenen Bedingungen zwischen den Polen eines Magnets axial, die diamagnetischen dagegen äquatorial. Füllt man eine dünne unmagnetische Glasröhre mit einer magnetischen Flüssigkeit, z. B. mit einer Lösung von Eisenvitriol in Wasser, so stellt sie sich zwischen den Magnetpolen axial, mit reinem Wasser gefüllt aber äquatorial. Wenn diamagnetische Körper mit magnetischen gemischt sind, so kann je nach dem Mischungsverhältnisse die eine oder andere Eigenschaft vorherrschen, falls nicht etwa beide verschwinden. So kann ein Glasröhrchen, das mit einer mehr oder weniger concentrirten Lösung von Eisenvitriol in Wasser gefüllt ist,

entweder angezogen oder abgestossen werden, aber auch indifferent erscheinen. Ist nun eine magnetische oder diamagnetische Substanz von einem ähnlich oder ungleich beschaffenen Medium umgeben, so können dadurch, wie nach dem Vorstehenden leicht ersichtlich, Erfolge herbeigeführt werden, die von dem gewöhnlichen Verhalten der betreffenden Substanzen abweichen, und z. B. einen magnetischen Körper diamagnetisch erscheinen lassen. Faraday füllte Glasröhren mit Lösungen von verschiedener Concentration, und tauchte sie theils in gleichartige, theils in andere Lösungen. Dieselben stellten sich dann, je nachdem die umgebende oder eingeschlossene Flüssigkeit stärker vom Magnete angezogen oder abgestossen wurde, axial oder äquatorial. Ein magnetischer Körper stellt sich in einer stärker magnetischen Flüssigkeit äquatorial, in einer schwächer magnetischen axial. Das Letztere findet auch in jeder diamagnetischen Flüssigkeit statt, so z. B. in dem gewöhnlichen Falle, wenn der magnetische Körper von atmosphärischer Luft umgeben ist. Ein diamagnetischer Körper nimmt aber in einem magnetischen oder diamagnetischen Medium die äquatoriale Stellung an.

12. Die diamagnetische Wirkung erscheint nun überhaupt im Verhältniss zur magnetischen als sehr gering. Auch werden manche Körper, die im Allgemeinen sich diamagnetisch verhalten, je nach der Stärke der Magnetpole bald angezogen, bald abgestossen. So fand Plücker, dass ein Stück Holzkohle bei grösserer Nähe der Pole sich äquatorial, bei grösserer Entfernung aber sich axial stellt, so wie auch, dass durch die Zunahme der Kraft der Magnetpole, bei unveränderter Entfernung, der Magnetismus der Holzkohle in Diamagnetismus verwandelt wird.

13. Der Diamagnetismus mancher Körper, z. B. des Wismuth, lässt sich auch schon mit einem schwächeren Magnete darthun. Auf die Endflächen des Hufeisens pflegt man Halbanker aus Eisen zu legen, deren Breite an dem einen Ende, womit sie die Schenkel des Magneten berühren, gleich dem Durchmesser der letzteren ist. Das andere Ende bildet einen stumpfen Kegel, und die Spitzen beider Kegel, welche die Pole des Magneten darstellen, können in grösserer oder geringerer Entfernung einander gegenübergestellt werden, so dass die Halbanker eine horizontale Lage haben. Plücker hat auch noch ein einfaches Mittel angegeben, den Diamagnetismus schwingender

Körper zu verstärken, welches darin besteht, dass man über dem schwingenden Wismuthstabe einen aequatorial gerichteten Eisenstab in die Mitte zwischen die beiden Pole des Hufeisenmagnets bringt und in dieser Lage festhält.

Stellt man unter die Halbanker ein brennendes Räucherkerzchen, so dass der aufsteigende Rauch das magnetische Feld zwischen den Ankern passiren muss, so gewahrt man eine Abstossung der Rauchtheilchen, und dasselbe beobachtet man an der Flamme eines Kerzenlichtes oder des Weingeistes, so dass dieselbe zwischen den einander nahe gegenüberstehenden Magnetpolen eine eingedrückte Gestalt annimmt. Aehnliches wie an den erhitzten Gasen der Flamme sieht man bei gefärbten Gasen: salpetriger Säure, Brom- und Joddämpfen. Um nun diese Abstossung auch bei anderen Gasen wahrzunehmen, brachte Faraday zwischen den Magnetpolen Glasröhren an, in welche etwas Salzsäure eingebracht wurde. Die betreffenden Gase enthielten aber ein wenig Ammoniak, das mit der Salzsäure weisse Dämpfe bildete, und dadurch die Richtung anzeigte, in welcher der zwischen den Magnetpolen auftretende Gasstrom durch die Einwirkung der letzteren bewegt wurde. Andere hierauf bezügliche Versuche wurden mit Glaskugeln angestellt, die mit verschiedenen Gasen angefüllt waren. Nach den Versuchen Faraday's zeigt sich nun unter den Gasen Wasserstoff am stärksten diamagnetisch, während Sauerstoff, wie derselbe und Andere gefunden, eine magnetische Anziehung erleidet.

Der Diamagnetismus der Gase wird nach Bancalari und Zantedeschi, welche die diamagnetische Eigenschaft der Flamme zuerst wahrgenommen, durch Erhöhung der Temperatur gesteigert. Dagegen nimmt, wie Plücker nachgewiesen, die diamagnetische Abstossung starrer Körper, gerade so wie die magnetische Anziehung, mit wachsender Temperatur ab.

14. Die Versuche Plücker's haben ferner herausgestellt, dass krystallisirte Körper ein besonderes Verhalten zwischen den Polen eines Magnets zeigen, das sich durch die Lage zu erkennen giebt, welche die optischen Axen dieser Körper einzunehmen suchen. Und Faraday beobachtete, dass manche Krystalle mit vorherrschender Spaltungsrichtung, wie z. B. Wismuth, Arsenik etc., zwischen den Magnetpolen sich so zu stellen streben, dass die auf der Spaltungsrichtung senkrechte Linie, die Faraday Magnetkrystallaxe nennt,

die axiale Lage annimmt. Hiermit übereinstimmend fand Plücker, dass geschmolzenes Wismuth, wenn es zwischen den Magnetpolen erstarrt, so anschiesst, dass die vorherrschende Spaltungsrichtung senkrecht auf der Verbindungslinie beider Magnetpole steht. Durch fortgesetzte Versuche wurde nun Plücker zur Aufstellung des Gesetzes veranlasst, dass die optischen Axen der Krystalle von den Polen des Magnets entweder angezogen oder abgestossen werden, je nachdem der Krystall zu den sogenannten positiven oder negativen Krystallen gehört. Bei zweiaxigen Krystallen ist es die Halbirungslinie des spitzen Winkels zwischen den beiden Axen, welche die axiale oder äquatoriale Lage annimmt. Die Kraft aber, mit welcher die Magnetpole auf die optischen Axen wirken, soll mit wachsender Entfernung von den ersteren langsamer abnehmen als die sonstige von denselben Polen ausgehende magnetische oder diamagnetische Einwirkung, und Plücker glaubte, dass diese Kraft, unabhängig von der magnetischen oder diamagnetischen Beschaffenheit der Krystallmasse, gewissermassen als eine selbstständige zu betrachten sei, welche sich eben als eine Abstossung der optischen Axe bei negativen und als eine Anziehung derselben bei positiven Krystallen äussere. Knoblauch und Tyndall haben dagegen zusammen dargethan, dass diese bei den Krystallen beobachteten Erscheinungen sich auf eine Ungleichheit der magnetischen oder diamagnetischen Wirkung nach verschiedenen Richtungen zurückführen lassen, und fanden weiterhin, dass die diamagnetische Wirkung so wie die magnetische in derjenigen Richtung am stärksten ist, in welcher die Theilchen der Körper am nächsten aneinander liegen. Wenn man demnach magnetische oder diamagnetische Körper comprimirt, so ist es die Richtung der stärksten Compression, welche sich zwischen den Magnetpolen, unter den gehörigen Bedingungen, axial oder äquatorial stellt.

15. Endlich hat Faraday gefunden, dass die Polarisations-ebene eines Lichtstrahles, der durch ein durchsichtiges, starres oder flüssiges Mittel geht, eine bestimmte Drehung erleidet, wenn dasselbe zwischen den Polen des Magnets sich befindet. Um diese Erscheinung, die mit der diamagnetischen Abstossung zweifellos in nächster Beziehung steht, wahrzunehmen, pflegt man die eisernen Halbanker zu durchbohren, so dass die beiden Durchbohrungen einen Kanal bilden. Bringt man nun zwischen beide Halbanker einen durchsichtigen Körper, so kann man durch ihn in axialer Richtung

von dem einen Ende des erwähnten Kanals nach dem anderen Ende hinsehen, und dann mit Hilfe zweier Nicol'scher Prismen und einer Argand'schen Flamme die Ablenkung des Lichtstrahles beobachten. Auch kann man in diesen Kanal eine mit Zuckerlösung, Terpentinöl u. dgl. gefüllte Glasröhre bringen, die an ihren Enden mit Glasplatten geschlossen ist. In einer solchen Flüssigkeit wird die Schwingungsebene eines polarisirten Lichtstrahles, wie man weiss, nach rechts oder links gedreht, und diese Drehung wird nun durch Einwirkung der Magnetpole vergrössert oder vermindert. Starre Körper, wie Bleiglas, Bleisilicat etc. verwendet man hierzu in parallelipedischer Form, an der man zwei parallele, gegenüberstehende Flächen polirt, so dass man durch sie in axialer Richtung, d. h. längs der Verbindungslinie beider Magnetpole hindurchsehen kann. Die Drehung ist bei den am stärksten lichtbrechenden Mitteln am grössten, und unter sonst gleichen Umständen der Dicke des Körpers proportional. Bei schwächer brechenden Mitteln kann man die Drehung vergrössern, wenn man den Strahl durch wiederholte Reflexionen öfter hin- und hergehen lässt. Dies geschieht, wenn man die parallelen, einander gegenüberliegenden Flächen versilbert, und die Versilberung auf einem Raum von bestimmter Breite längs einer der Kanten von der Fläche abnimmt, ebenso an der anderen Fläche, jedoch an der entgegengesetzten Seite des Parallelipeds. In Folge dieser Einrichtung kann ein Lichtstrahl, nachdem er zu einem Ende eingetreten ist, mehrmals in dem Körper reflectirt und dann an dem anderen Ende herausgelassen werden. Indem der Lichtstrahl so mehrmals die Dicke des Mittels durchläuft, wird die Drehung seiner Polarisationsebene in demselben Sinne vermehrt. Nach Bertin nimmt die Drehung in geometrischer Progression ab, wenn der Abstand der Pole in einer arithmetischen Reihe wächst. Nach denselben Gesetzen wie die Lichtstrahlen erfahren nun auch die Wärmestrahlen durch die Einwirkung des Magnetismus eine Drehung ihrer Polarisationsebene.

16. Im Hinblick auf die dargestellten diamagnetischen Erscheinungen scheint nun jeder Pol eines Magnets in einem sogenannten diamagnetischen Körper sich gegenüber einen gleichartigen Pol zu veranlassen, während derselbe Pol in einem des gewöhnlichen Magnetismus fähigen Körper den entgegengesetzten Pol hervorbringt. So entsteht also im Widerspruche mit dem bekannten Gesetze der magnetischen Vertheilung dem Nordpol eines starken Magnets gegen-

über in einem Wismuthstäbchen ein Nordpol, und dem Südpol gegenüber ein Südpol. Dass nun der Diamagnetismus in ähnlicher Weise wie der Magnetismus, auf einer wirklichen Polarität beruhe, haben Reich, Weber und Poggen dorff durch Experimente darzuthun gesucht. So fand Weber*) unter anderem, dass, wenn man das eine Ende eines Wismuthstabes an das Nordende eines starken Magnets bringt, während man sein anderes Ende dem Nordende einer im Gleichgewichtszustande befindlichen Magnetnadel nähert, letzteres angezogen wird. Wenn man aber dasselbe Ende des Wismuthstabes an das Südende des starken Magnets bringt, so wird das Nordende der Magnetnadel von dem anderen ihm genäherten Ende des Wismuthstabes abgestossen. Andererseits hat man dagegen die Meinung geäußert, dass die besagten Erscheinungen nicht wie bei den magnetischen Körpern Folge einer wirklichen Polarität, sondern vielmehr Folge einer indifferenten Abstossung seien, welche jeder Magnetpol in gleicher Weise auf alle Arten von Materie ausübe. In welchem causalen Zusammenhänge nun der sogenannte Diamagnetismus mit den magnetischen und elektrischen Erscheinungen steht, können wir erst später, nach Darlegung der Elektrizitätslehre, zum Gegenstande unserer Betrachtung machen. Wir verlassen hier das Feld der magnetischen Fundamentalerscheinungen und betreten das Gebiet der Elektrizität, wo wir gehörigen Orts dem Magnetismus wieder begegnen werden.

*) Pogg. Ann. Bd. 73. S. 241, 244.

Zweites Kapitel.

Elektrische Fundamentalerscheinungen.

17. Dieselbe Kraft, welche in der Erscheinung des Gewitters nicht selten in bedrohlicher Weise sich kundgiebt, wird auch bei allen anderen Vorgängen in der Natur, ja bei jedem Schritt und Tritt, den wir selbst vollziehen, in gewissem Masse zur Thätigkeit angeregt. Nur treibt sie ihr Wesen in vielen Fällen auf eine stille, geräuschlose Weise, während sie dort als Wetterstrahl unter donnerndem Getöse die Luft durchbricht.

Es ist eine längst bekannte Sache, dass fast alle Körper durch Reiben in einen eigenthümlichen Zustand gerathen, worin sie leicht bewegliche Körpertheilchen anzuziehen und nach erfolgter Berührung wieder abzustossen vermögen. Man nennt diesen Zustand, den man zuerst am Bernstein (*ἤλεκτρον*) wahrnahm, den elektrischen Zustand oder auch wohl schlechthin die Elektricität. Derselbe überträgt sich durch Berührung von einem Körper auf den anderen, aber immer so, dass derjenige, von welchem die Uebertragung ausgeht, einen bestimmten Verlust an dieser Kraft erleidet. Viele Körper, z. B. die Metalle, nehmen nun die Elektricität nicht nur leicht von aussen her an, sondern sie verbreiten auch dieselbe auf ihrer ganzen Oberfläche mit einer ganz ausserordentlichen Geschwindigkeit. Solche Körper heissen gute Leiter der Elektricität. Andere dagegen, wie Glas, Harz, Seide, Wolle, Gutta-Percha etc. sträuben sich gegen die Annahme der Elektricität von aussen, und sind ebenso wenig geneigt, dieselbe auf ihrer Oberfläche weiter fortzupflanzen. Diese Körper, schlechte Leiter oder, wenn sie das eben aufgezeigte Merkmal in hohem Grade darbieten, Nichtleiter genannt, sind nun gerade

geschickt, die beim Reiben entwickelte Elektricität zur Wahrnehmung zu bringen, da sie dieselbe eben viel besser als andere Körper auf ihrer Oberfläche zurückhalten. Soll daher ein Leiter die ihm mitgetheilte Elektricität längere Zeit hindurch behalten, so pflegt man ihn durch Verbindung mit einem schlechten Leiter ausser Gemeinschaft mit anderen guten Leitern der Elektricität zu bringen, was z. B. bei einem Metall dadurch geschieht, dass man ihm eine Säule von Glas oder Harz als Träger giebt. Theilt man diesem Metall Elektricität mit, so wird sich dieselbe, falls nur jener Träger eine hinreichende Länge hat, nicht nach dem Fussboden und der Erde fortpflanzen; das Metall ist dann, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, isolirt. Die Luft aber, welche den elektrischen Körper allenthalben umgiebt, nimmt zwar von diesem jeden Augenblick einige Elektricität an, aber doch, wenn sie hinreichend trocken ist, so wenig, dass derselbe dadurch nur allmählig in den gewöhnlichen, d. h. unelektrischen Zustand zurückgeführt wird. Trockne Luft ist ein Nichtleiter der Elektricität.

Die Elektricität geht nun erfahrungsmässig um so leichter von einem Körper auf einen anderen über, je besser sie der letztere leitet, und je grösser dessen Oberfläche ist. Wenn daher ein isolirter Leiter die ihm anhaftende Elektricität möglichst vollständig verlieren soll, so muss man ihn mit einem anderen Leiter von sehr bedeutender Oberfläche in Berührung bringen. Dies geschieht, wenn man ihn mit dem Erdboden, also gewissermassen mit der ganzen Erdoberfläche entweder unmittelbar oder vermittelt eines Leiters, z. B. eines Metalldrahtes in leitende Verbindung setzt.

18. Es giebt aber zwei entgegengesetzt elektrische Zustände, und jeder Körper kann beide annehmen. Von dem Dasein dieses elektrischen Gegensatzes überzeugt man sich schon durch sehr einfache Mittel. Man reibt eine Stange Siegellack mit einem wollenen oder seidenen Tuch, und nähert ihr hierauf ein Kügelchen von Kork oder Hollundermark, das an einem Seidenfaden hängt. Dasselbe wird dann rasch von der Stange angezogen, sobald es aber letztere berührt hat, fährt es zurück, und wird nun nicht eher wieder herbeigezogen, bis es die von der Stange empfangene Elektricität durch Berührung mit der Hand oder sonstwie eingebüsst hat. Ganz dieselbe Erscheinung zeigt ein mit Wollen- oder Seidenzeug geriebener Glasstab, so dass also ein ihm genähertes (isolirtes) Korkkügelchen gleichfalls zuerst angezogen und nach erfolgter Berührung zurückgestossen

wird. Bringt man aber ein solches Kügelchen, das durch Berührung mit einer geriebenen Harzstange elektrisirt ist, in die Nähe eines geriebenen Glasstabes, so wird es von diesem angezogen, und umgekehrt würde das durch letzteren elektrisirte Kügelchen von einer geriebenen Harzstange angezogen werden. Zwei solche Kügelchen, die beide durch geriebenes Glas oder beide durch geriebenes Siegelack elektrisirt sind, stossen einander ab, während zwischen beiden, wenn das eine durch geriebenes Glas, das andere durch so behandeltes Harz elektrisch geworden, gegenseitige Anziehung stattfindet. Schreitet letztere bis zur Berührung fort, so hat dies meist die Folge, dass der elektrische Zustand in beiden Kügelchen verschwindet. Der elektrische Zustand des Glases ist also gewiss von anderer Art als der des Harzes, obschon beide Zustände, wenn man jeden für sich betrachtet, ein ganz gleiches Verhalten zeigen. So wird das Korkkügelchen sowohl vom elektrischen Glase als auch vom Harze angezogen; ist es aber mit einem dieser Körper einmal in Berührung gekommen und dadurch elektrisch geworden, so wird es von dem einen nur angezogen und von dem andern bloß abgestossen. Doch kann das Glas und ebenso auch das Harz, je nach der Beschaffenheit des reibenden Stoffes, sowohl den einen als auch den anderen elektrischen Zustand annehmen. Diesen ungleichartigen Zuständen, welche in allen Körpern hervortreten können, und stets das Bestreben haben, sich gegenseitig aufzuheben oder auszugleichen, hat man besondere Benennungen gegeben. Der eine heisst der positiv, der andere der negativ elektrische Zustand, oder auch schlechthin die positive und die negative Elektrizität. Die erstere bezeichnet man durch $+$, die andere durch $-$.

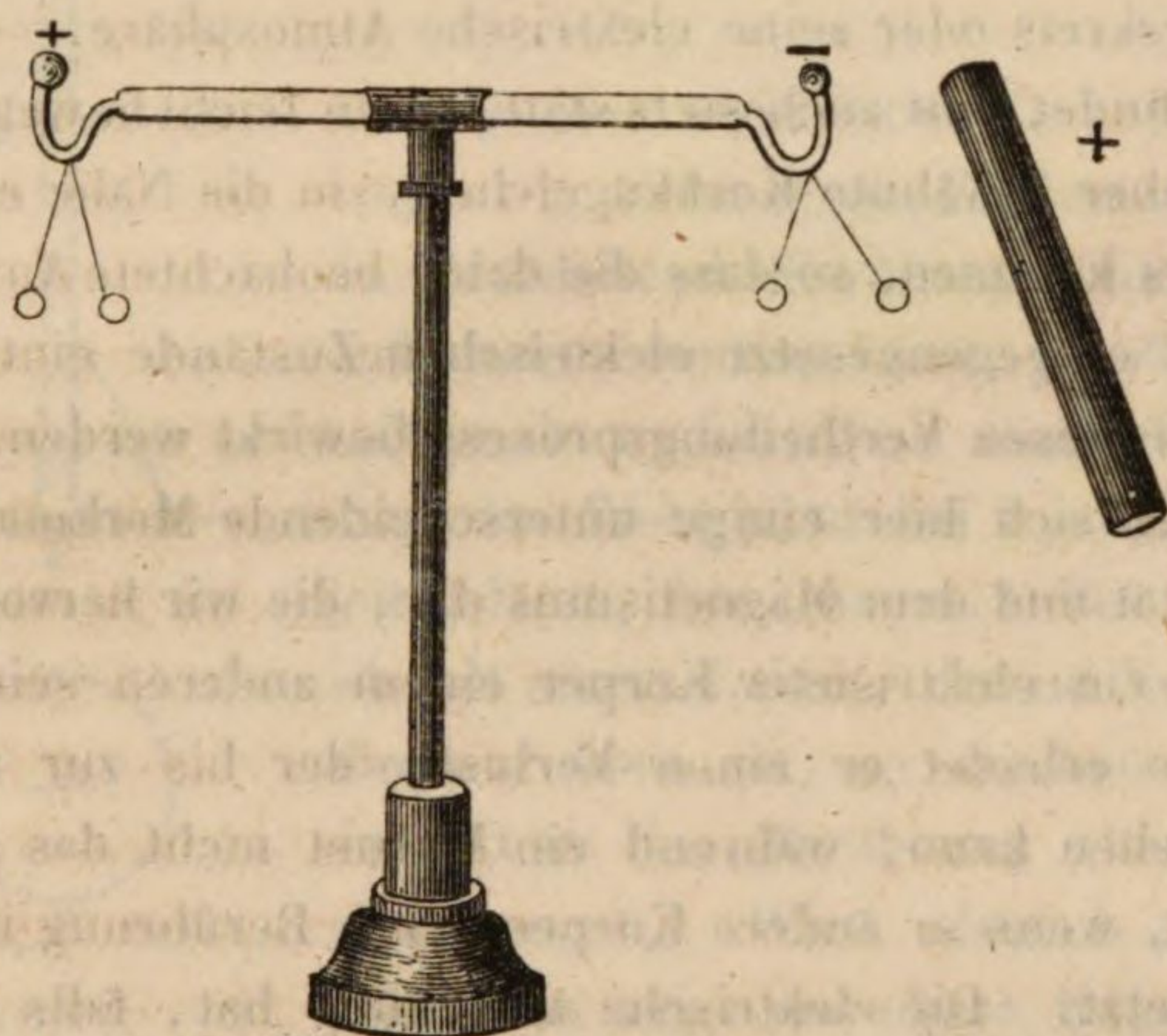
Gleichartige elektrische Zustände bewirken nach dem Vorstehenden Abstossung, ungleichartige hingegen Anziehung zwischen den mit ihnen behafteten Körpern. Zwei Körper also, welche entgegengesetzt elektrische Zustände haben, nähern sich, unter Voraussetzung freier Beweglichkeit, einander gegenseitig. Im Moment der Berührung verschwinden aber diese Zustände vollständig, wenn sie in zwei Körpern von gleichem Umfange eine gleichgrosse Intensität zeigten. Ist die letztere bedeutend, so kann die Ausgleichung schon vor der Berührung stattfinden, indem ein Funken überschlägt, bei dessen Erscheinung die Körper in ihren gewöhnlichen Zustand zurückkehren. Die elektrische Abstossung nach stattgehabter Berührung ist aber

immer die Folge einer Mittheilung des elektrischen Zustandes. Das an einem Seidenfaden hängende Korkkugelchen wird nämlich, während es den durch Reiben elektrisirten Körper berührt, selbst elektrisch und dann zurückgestossen, bis es durch Berührung mit einem andern Leiter wieder in den gewöhnlichen Zustand versetzt ist. Die Erscheinung bleibt aus, wenn man ein Schellackkugelchen nimmt, weil dieses als schlechter Leiter der Elektricität den elektrischen Zustand des geriebenen Körpers nur sehr schwer annimmt. Dagegen behält es freilich die einmal empfangene Elektricität länger bei.

19. Wenn irgend ein Körper durch Reiben elektrisch wird, so ist da bekanntlich immer noch ein anderer im Spiele, derjenige nämlich, woran jener sich reibt. Beide Körper müssen nun verschiedenartiger Natur sein, wenn sie durch gegenseitiges Reiben merklich elektrisch werden sollen. Beide werden dann zugleich, und zwar der eine positiv, der andere negativ elektrisch. Der Grad dieser elektrischen Erregung hat jedoch seine Grenze, die durch fortgesetztes Reiben nicht überschritten werden kann. Soll aber der eine Körper im höchsten Masse elektrisch werden, so muss man die Elektricität des anderen zur Erde ableiten. Dies findet statt bei der Elektrisirmaschine, wo ein Cylinder oder eine Scheibe von Glas sich an einem Leder reibt, dessen Oberfläche mit Amalgam, d. h. mit einem Gemisch von 2 Theilen Quecksilber, 1 Th. Zinn und 1 Th. Zink überzogen ist. Dieses Leder steht in Verbindung mit einer Metallplatte, die ihrerseits wieder durch eine Kette mit dem Fussboden verbunden ist. Wird nun die Maschine in Thätigkeit gesetzt, also das Glas am Amalgam gerieben, so nimmt jenes den positiv, dieses den negativ elektrischen Zustand an. Dem letzteren aber, indem er sich durch die Kette dem Fussboden mittheilt, wird damit die Gelegenheit entzogen, sich theilweise wieder mit der positiven Elektricität des Glases auszugleichen, so dass dann diese in einem höheren Grade als sonst hervortreten kann. Die durch's Reiben elektrisch gewordenen Stellen des Glases kommen nun nacheinander in die Nähe eines Messingcylinders, dem sie ihre Elektricität zum Theil abgeben. Dadurch wird dann auch dieser Cylinder, der auf mehreren Glassäulen ruht, und gewöhnlich Conductor genannt wird, in derselben Weise wie das am Amalgam geriebene Glas elektrisch. Die auf seiner Oberfläche befindliche Elektricität hat aber das Bestreben, sich der Umgebung mitzutheilen, — ein Bestreben, das

man elektrische Spannung nennt, und eine Folge davon ist, dass jeder Körper, der in die Nähe kommt, gleichfalls elektrisirt wird. Dabei gewahrt man dann meist eine Lichterscheinung, die unter dem Namen des elektrischen Funkens bekannt ist, den man auch schon sieht, wenn man im Dunkeln eine geriebene Glas- oder Harzstange dem Knöchel eines Fingers nahe bringt.

20. Ein sehr bemerkenswerther elektrischer Process findet statt, wenn man in die Nachbarschaft eines positiv oder negativ elektrischen Körpers einen anderen Körper bringt, der sich im gewöhnlichen Zustande befindet. Dieser Process besteht darin, dass in demselben Körper beide entgegengesetzte elektrische Zustände zugleich, jedoch in verschiedener Weise auftreten. Ein Metallstab (Fig. 1) ruhe auf



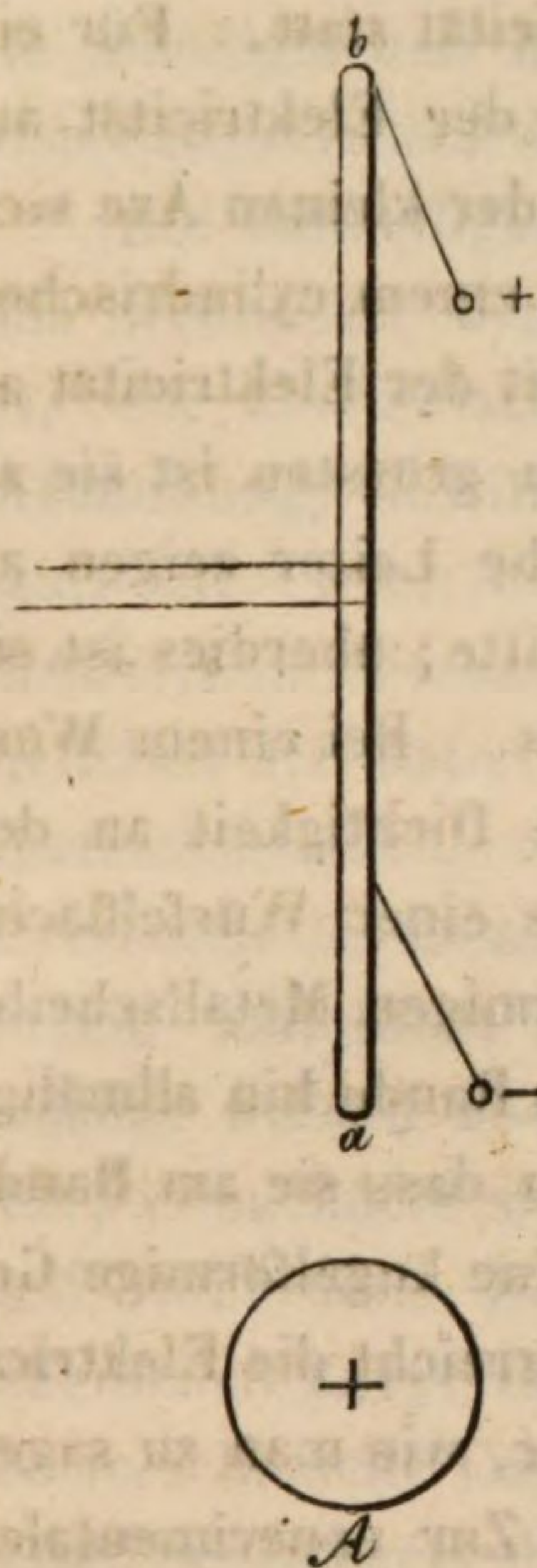
einem isolirenden Glasfusse, und trage an seinen umgebogenen Enden Hollundermarkkugeln, welche an feinen Metall- oder Leinenfäden befestigt sind. Nähert man nun diesem Stabe eine geriebene Glasstange, so fahren die Kugeln alsbald auseinander, indem die einen den positiv, die anderen den negativ elektrischen Zustand verrathen. Der Metallstab zeigt also an seinen beiden Enden entgegengesetzt elektrische Zustände. Entfernt man jedoch den elektrischen Körper wieder, so fallen auch die Kugeln wieder zusammen, indem der Leiter in seinen gewöhnlichen Zustand zurückkehrt. Bringt man aber den isolirten Leiter, während noch der elektrische Körper auf ihn wirkt, mit dem Boden in leitende Verbindung, so wird der

an dem abgekehrten Ende vorhandene elektrische Zustand aufgehoben, und der Leiter befindet sich nun, nach Entfernung der elektrischen Glasstange, auf seiner ganzen Oberfläche überall in einem gleichartigen elektrischen Zustande, welcher dem des Glases entgegengesetzt ist. So sucht jeder elektrische Körper in einem ihm genäherten das elektrische Gleichgewicht aufzuheben, dergestalt, dass der ihm zugekehrte Theil dieses Körpers den entgegengesetzten, der abgewendete aber den gleichnamigen elektrischen Zustand erhält. Je länger nun der betreffende Leiter ist, desto entschiedener treten die beiden entgegengesetzt elektrischen Zustände auseinander. Dies ist das Gesetz der elektrischen Vertheilung (Influenz). Den Raum aber, innerhalb dessen ein elektrischer Körper noch einen bemerkbaren Einfluss auf andere Körper ausübt, nennt man gewöhnlich seinen Wirkungskreis oder seine elektrische Atmosphäre. Eine solche Vertheilung findet nun auch stets statt, wenn leicht bewegliche Stoffe, z. B. das früher erwähnte Korkkugeln, in die Nähe eines elektrischen Körpers kommen, so dass die dabei beobachtete Anziehung erst in Folge der entgegengesetzt elektrischen Zustände eintreten kann, welche durch diesen Vertheilungsprocess bewirkt werden.

Es bieten sich hier einige unterscheidende Merkmale zwischen der Elektrizität und dem Magnetismus dar, die wir hervorheben wollen. Wenn ein elektrisirter Körper einem anderen seinen Zustand mittheilt, so erleidet er einen Verlust, der bis zur völligen Erschöpfung gehen kann, während ein Magnet nicht das geringste an Kraft verliert, wenn er andere Körper durch Berührung in denselben Zustand versetzt. Die elektrische Anziehung hat, falls eine Berührung der betreffenden Körper stattfindet, Abstossung zur Folge, die magnetische nicht; und wenn zwei mit entgegengesetzt elektrischen Zuständen behaftete Körper sich bis zur Berührung anziehen, so erfolgt eine völlige Ausgleichung dieser Zustände oder eine Wiederherstellung des natürlichen Zustandes dieser Körper, falls die elektrischen Zustände in beiden mit gleicher Intensität hervortraten. Beim Elektrisiren durch Vertheilung zeigt sich zwar ein ähnlicher Gegensatz wie beim Magnetisiren eines Stückes Eisen, indem das dem elektrischen Körper zugekehrte Ende eines benachbarten Leiters den ungleichartigen, das andere den gleichnamigen elektrischen Zustand erhält. Verbindet man aber den durch Vertheilung elektrisirten Leiter durch einen anderen mit der Erde, so geräth er bekanntlich auf

seiner ganzen Oberfläche in denselben elektrischen Zustand, der dem des vertheilend wirkenden Körpers entgegengesetzt ist. So etwas zeigen die magnetischen Erscheinungen nicht, da ein Magnet, so lange er als solcher existirt, immer wenigstens zwei Pole besitzt.

Zur bequemen Darstellung der elektrischen Vertheilungserscheinungen dient auch nachstehender Apparat von Riess. Ein Draht



ab ist an einer isolirenden Handhabe befestigt und trägt an seinen abgerundeten Enden Hollundermarkkugeln, die an Leinenfäden herabhängen. A ist eine isolirte Metallkugel, von welcher der vertheilende Einfluss ausgeht, wenn man ihr eine bestimmte Elektricität mittheilt.

Da der elektrische Zustand bei a, so lange ab unter dem Einfluss von A steht, durch ableitende Berührung nicht vollständig aufgehoben werden kann, so pflegt man denselben als gebunden anzusehen, während man die Elektricität bei b, welche sich ableiten lässt, frei nennt. Berührt man aber ab mit einem Leiter, der im Verhältnisse zu ihm nur klein ist, so ergeben sich je nach dem Orte der Berührung abweichende Erscheinungen. Wird nämlich ab bei b berührt, so zeigt das obere Kügelchen, nach Entfernung des berührenden Leiters, eine schwächere, das untere Kügelchen eine stärkere Ablenkung als vorher. Dagegen geschieht das Umgekehrte, wenn die Berührung unten, bei a, stattfindet. Bringt man aber den Leiter ab aus dem Wirkungskreise von A, so zeigt er im ersten Falle negative, im zweiten positive Elektricität.

21. Die Elektricität verbreitet sich vorzugsweise auf der Oberfläche der Leiter. Bringt man eine mit freier Elektricität versehene Metallkugel mit einer andern, gleich grossen in Berührung, die sich aber im gewöhnlichen Zustande befindet, so verliert sie gerade die Hälfte ihrer freien Elektricität, mag nun die zweite Kugel hohl oder solide sein. Wird aber eine elektrisirte Kugel, die auf einem isolirenden Glasfusse steht, von zwei Halbkugeln mit etwas grösserem

Durchmesser vollständig umschlossen, so verbreitet sich ihre freie Elektrizität ganz und gar auf der letzteren.

Beide elektrische Zustände, der positive und negative, verbreiten sich nun auf Leitern von gleicher Gestalt und Grösse ganz in derselben Weise. Die besondere Art der Verbreitung, namentlich in Bezug auf ihre Intensität an verschiedenen Punkten der Oberfläche, ist durch die Gestalt des Leiters bedingt. Nur auf einer Kugel findet eine ganz gleichmässige Vertheilung der Elektrizität statt. Für ein Ellipsoid fand P o i s s o n, dass die Dichtigkeit der Elektrizität am Ende der grossen Axe zur Dichtigkeit am Ende der kleinen Axe sich verhalte, wie die grosse Axe zur kleinen. Bei einem cylindrischen Leiter mit abgerundeten Enden ist die Dichtigkeit der Elektrizität an den Enden viel grösser als in der Mitte, und am grössten ist sie an den Enden der Cylinderaxe. Auch prismatische Leiter zeigen an den Enden eine stärkere Elektrizität als in der Mitte; überdies ist sie an den Ecken und Kanten grösser als anderwärts. Bei einem Würfel von nahe 37 Par. Linien, fand R i e s s die Dichtigkeit an der Würfelspitze $= 4,22$, wenn sie in der Mitte einer Würfelfläche $= 1$ angenommen wurde. Auf einer kreisförmigen Metallscheibe nimmt die Dichtigkeit der Elektrizität nach dem Rande hin allmähig, in der Nähe des letzteren aber plötzlich zu, so dass sie am Rande selbst ihr Maximum erreicht. Hat der Leiter eine kugelförmige Gestalt, oder ist er mit einer Spitze versehen, so erreicht die Elektrizität an dieser die grösste Spannung, so dass hier, wie man zu sagen pflegt, ein Ausströmen derselben stattfindet. Zur experimentalen Prüfung dieser Gesetze brauchte C o u l o m b ein sogenanntes Probe-scheibchen, das aus einem Stäbchen von Schellack besteht, an dessen einem Ende ein kleines Scheibchen aus Blattgold befestigt ist. Berührt man mit diesem Scheibchen die Oberfläche eines elektrisirten Körpers, so wird es die Elektrizität der von ihm bedeckten Stelle annehmen, und die Stärke seiner Ladung ergiebt sich durch die Anwendung der Coulomb'schen Drehwage, oder wohl auch dadurch, dass man dasselbe mit der Platte eines gewöhnlichen Elektrometers in Berührung bringt und die Divergenz der Pendel beobachtet. Diese Divergenz stellt sich stets gleich stark heraus, wenn man das Probe-scheibchen nach und nach mit verschiedenen Stellen einer elektrischen Kugel berührt. Anders verhält es sich bei Körpern von ungleichmässiger Ausdehnung.

22. Die Art und Weise, wie das, was man Elektricität nennt, von Körper zu Körper übergeht, wie es die Materie erschüttert und unter Umständen zertrümmert, und noch so manches Andere ruft die Vorstellung von einem besonderen Fluidum hervor, welches die betreffenden Erscheinungen bedingt. Wir haben diese Vorstellung, die sich ungezwungen darbietet, zunächst festzuhalten, und nun zu erforschen, ob dieselbe bei gehöriger Ausbildung sich fähig erweist, die mannigfachen Erscheinungen der Elektricität in einem streng wissenschaftlichen Zusammenhange zu erklären.

Die Schnelligkeit, mit welcher die Elektricität in den Leitern sich verbreitet, deutet an, dass sie ein höchst bewegliches Fluidum ist, oder dass zwischen ihren eigenen Elementen sehr bald Repulsion (Abstossung) eintritt, wenn es einigermaßen in einem Körper angehäuft ist. Doch bedingt dasselbe nicht schon an und für sich die elektrischen Erscheinungen, sondern nur im Verein mit den Massentheilen der Materie, woran diese Erscheinungen hervortreten. Den Thatsachen zufolge muss jedoch eine gewisse Anziehung zwischen den Elementen des Elektricums und den Massentheilen der Materie stattfinden, weil sonst kein reeller Zusammenhang zwischen denselben gedacht werden könnte. Vermöge der Verschiedenheit der Körper aber, je nachdem sie aus diesen oder jenen Stoffen zusammengesetzt sind, wird auch die Anziehung zwischen dem Elektricum und verschiedenen Körpertheilen eine ungleiche sein. Dazu kommt noch die verschiedene Configuration und die grössere oder geringere Dichtigkeit der Körper. Von diesen verschiedenen Umständen wird nun vorzugsweise die Freiheit abhängen, womit das Elektricum in der Materie sich bewegen kann, oder es ist durch dieselben das bedingt, was man die elektrische Leitungsfähigkeit der Körper nennt.

Eine gewisse Menge des Elektricums, das wir mit E bezeichnen wollen, wird auf Grund der Anziehung, die zwischen ihm und den Massentheilen der Materie besteht, den letzteren sich beharrlich anschliessen können, indem es dieselben in der Form von Sphären einhüllt. Sobald aber diejenige Quantität von E, welche die Materie beharrlich mit sich verbinden kann, überschritten ist, entsteht eine verstärkte Repulsion zwischen den Elementen des Elektricums selbst, wodurch es genöthigt wird, sich auf der Oberfläche der Körper auszubreiten. Eine Repulsion in höherem Grade entsteht also wahrscheinlich erst dann zwischen den elektrischen Elementen, wenn

ihrer zu viele in einem Massentheilchen der Materie sich begegnen, und sie dadurch mit der Constitution der letzteren in Conflict gerathen. Vermöge dieser Repulsion nun, welche zwischen den Elementen des Elektricums auf der Oberfläche des Körpers statt hat, wird dasselbe einen Antrieb empfangen, in den umgebenden Raum einzudringen. Ist aber der letztere von einer Materie erfüllt, die ihm keine freie Bewegung gestattet, d. h. also von einem schlechten Leiter der Elektricität (z. B. von trockner atmosphärischer Luft), so wird das auf der Oberfläche des Körpers angehäuften E, kraft der fortdauernden Wirksamkeit derselben Repulsion, einen Druck ausüben, der sich unbestimmt in die umgebende Materie fortpflanzen kann. Da jedoch das Elektricum auch um die Molecüle dieser Materie seine Sphären gebildet haben wird, so können sich die letzteren hinsichtlich jenes Druckes nicht gleichgiltig verhalten. Ist also die umgebende Materie eine solche, worin das E sich nicht frei bewegen kann, so wird der Druck, welcher von der Oberfläche des betreffenden Körpers ausgeht, zunächst auf die elektrischen Sphären dieser Materie (die sich gewissermassen als elastische Kügelchen betrachten lassen) seine Wirkung äussern, indem sie an der einen Seite, woher der Druck kommt, abgeplattet, an der andern aber ausgedehnt, also dort dichter, hier dünner werden. Nun können aber diese Sphären jenen Druck nicht in sich aufnehmen, ohne zu reagiren, und eben dadurch, dass sie die Gewalt, welche sie erleiden, zurückwirken lassen, halten sie das Elektricum auf der Oberfläche des Körpers fest. Man erkennt nun auch, dass es nicht einerlei sein kann, wie die Oberfläche, von welcher der erwähnte Druck ausgeht, gestaltet ist. Kommt der Druck von einer concaven Fläche, so convergiren seine Richtungen, die elektrischen Sphären drängen wider einander und widerstehen einander um so mehr, je grösser die Concavität ist. Das Gegentheil geschieht, wenn der Druck von einer erhabenen Fläche ausgeht, weil alsdann seine Richtungen divergiren. Die Sphären hindern dann einander viel weniger, sie sind nachgiebiger, und das E, welches den Druck bewirkt, wird sich an solchen Orten vorzugsweise ansammeln, da ein grosser Theil des Widerstandes, welcher bei ebenen und concaven Flächen stattfindet, hier wegfällt. Ist also das E in irgend einer Masse angehäuften, so wird seine Dichte an solchen Punkten am grössten sein, welche convex gegen die Umgebung sind, und die mithin Hervorragungen, Spitzen und dergl.

bilden. Hieraus folgt einfach, dass das Elektricum auf einer Kugel sich gleichmässig verbreiten wird, nicht aber auf Körpern, deren Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen hin ungleich ist.

23. Das auf der Oberfläche eines Körpers befindliche Elektricum ist frei, insofern es allseitig das Bestreben hat, in den umgebenden Raum einzudringen. Auf dieses freie Elektricum äussert die Materie der Körper, denen es anhaftet, keine merkliche Anziehung mehr, weil dasselbe ausserhalb des quantitativen Verhältnisses liegt, nach welchem sich die Elemente des E mit den Massentheilchen der Materie verbinden, und das den natürlich elektrischen Zustand derselben bedingt. Das freie Elektricum kann, wiederum auf Grund jener Repulsion, nur auf der Oberfläche der Körper verweilen, während das Innere der letzteren sich im Zustande des gewöhnlichen elektrischen Gleichgewichts befindet. Allerdings wird das an der Oberfläche eines Körpers angehäuften E einen bestimmten Druck gegen die elektrischen Sphären ausüben, welche sich um die Massentheilchen im Innern gebildet haben; aber diese wirken zurück, und das Resultat dieser gegenseitigen Reaction ist eben das Verweilen des freien E an der Oberfläche. Ueberdies lässt sich vermittlest einer sehr einfachen geometrischen Betrachtung einsehen, dass die verschiedenen von der Oberfläche ausgehenden Einwirkungen auf eine innere elektrische Sphäre sich gegenseitig aufheben müssen, was namentlich im Falle eines kugelförmigen Leiters sofort einleuchtet. Das Innere erscheint gleichgiltig gegen die aus der elektrischen Repulsion entspringenden Vorgänge an der Oberfläche. Ein hohler Leiter, der von einer sehr dünnen Kugelschale gebildet ist, kann sich bezüglich der Anordnung und Gleichgewichtsverhältnisse des E auf der Oberfläche nicht anders verhalten als ein massiver von denselben Dimensionen. Eine und dieselbe Elektrizitätsmenge muss sich auf der Oberfläche des einen wie auf der des anderen in gleicher Weise verbreiten, falls die die Oberfläche bildenden Massentheilchen diejenige Quantität des E schon enthalten, welche sie überhaupt mit sich verbinden können. Selbst die materielle Verschiedenheit der Körper kann unter dieser Bedingung keinen Unterschied begründen. Für die Art der Verbreitung von Belang ist hier nur die Gestalt und Ausdehnung der Oberfläche.

Der elektrische Druck, welcher von einem Körper auf die umgebende Materie ausgeübt wird, ist ohne Zweifel um so mächtiger,

je stärker die Anhäufung des E, mithin auch je grösser die Dichte desselben auf der Oberfläche des Körpers ist. Die Abstossung zwischen den Elementen des Elektricum ist aber natürlich gegenseitig. Während nun die partiellen Repulsionen sich einerseits aufheben, vereinigen sie sich anderseits zu einer Totalkraft, die senkrecht gegen die Oberfläche gerichtet ist und mit der Dichte der elektrischen Schicht an Grösse zu- und abnimmt. —

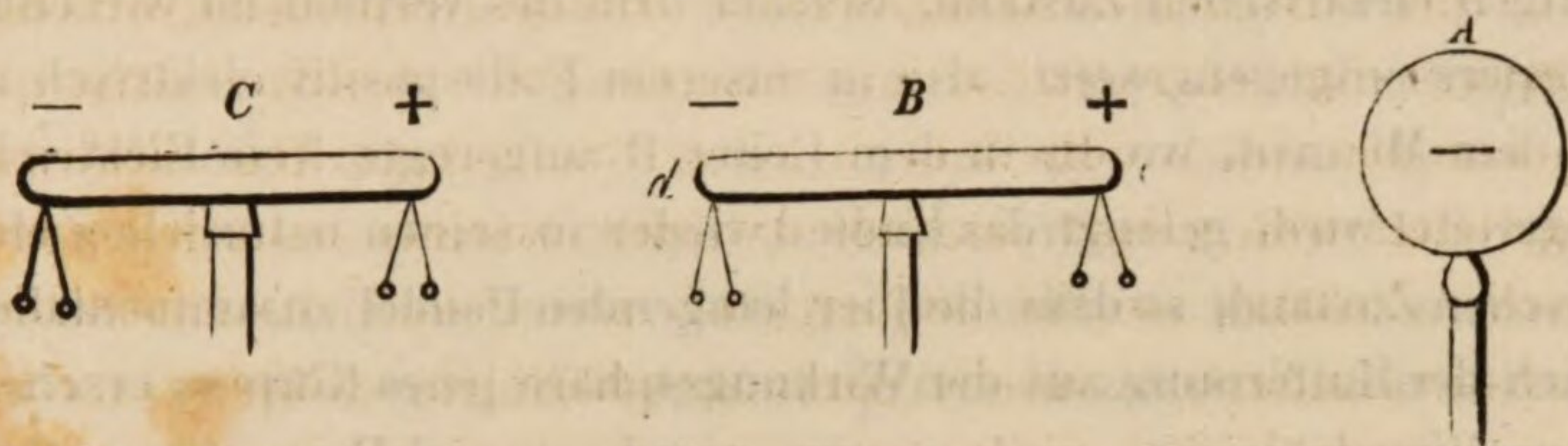
Die bisherigen Betrachtungen beziehen sich lediglich auf die Annahme Eines elektrischen Fluidums, das wir uns auf der Oberfläche irgend eines Körpers angehäuft dachten. Wir wenden uns nun zur näheren Erwägung des bekannten Gegensatzes zwischen dem positiv und negativ elektrischen Zustande und der damit zusammenhängenden Erscheinungen.

24. Wenn mehrere Körper in bestimmten Entfernungen einander gegenüber stehen, so wird zwischen ihnen elektrisches Gleichgewicht stattfinden, wenn die Repulsion oder der elektrische Druck, welcher von ihren Oberflächen ausgeht, bei allen gleich stark ist. Tritt aber Ueberschuss oder Mangel an E in dem einen oder anderen dieser Körper ein, so ist das Gleichgewicht aufgehoben.

Wir verstehen hier aus Gründen, die erst später angeführt werden können, unter dem durch: — bezeichneten, sogenannten negativ elektrischen Zustand denjenigen, in welchem ein Körper mehr Elektricum als in seinem gewöhnlichen Zustande enthält, und demgemäss unter dem positiv elektrischen Zustand einen solchen, worin ein Körper seines eigenen Elektricums mehr oder weniger beraubt ist, so dass er also weniger davon als in seinem natürlichen Zustande besitzt.

Es sei nun ein sogenannter Leiter der Elektricität, d. h. ein Körper, worin das E sich mit einer gewissen Freiheit bewegen kann, mit demselben angefüllt. Diesem Leiter werde in einer bestimmten Entfernung ein zweiter Leiter B gegenüber gestellt, welcher sich im gewöhnlichen Zustande befindet, d. h. der vom E nicht dergestalt erfüllt ist, dass er gegen seine Umgebung einen ebenso starken Druck als jener ausüben kann. Nun wirkt der von A herkommende Druck durch die elektrischen Sphären der Luft hindurch auf B, und zwar zunächst auf den vorderen Theil desselben, wodurch das hier befindliche E genöthigt wird, die andere Hälfte von B einzunehmen. Die elektrische Spannung auf der dem Leiter B zugekehrten Fläche

von A wird aber dadurch, dass sie sich auf den ersteren fortpflanzt, geschwächt, und deshalb werden die auf der hintern Fläche von A



befindlichen Elemente, zwischen denen die Repulsion noch unvermindert besteht, veranlasst, sich nach jener Seite zu begeben, an der, wie so eben bemerkt, die Spannung nachgelassen hat. Das auf A angesammelte Elektricum hat nun seine freie Beweglichkeit zum Theil eingebüsst, weil es wegen der Fortpflanzung seines Druckes auf B und vermöge der freien Beweglichkeit des E in diesem Leiter das Bestreben hat, in denselben einzudringen. Zugleich hat der Leiter A die Fähigkeit erlangt, noch eine gewisse Quantität von E (bis zur Wiederherstellung der früheren elektrischen Spannung) aufzunehmen, und die Capacität des A für neues E wird noch grösser werden, wenn man das in B aufgeregte E ableitet, weil alsdann der Gegendruck des letzteren wegfällt. Das von A abgewendete Ende von B befindet sich nun mit A in demselben elektrischen Zustande, weil das E des Leiters B durch die Wirkung des beschriebenen Druckes hier angehäuft ist. Dagegen ist das dem A zugekehrte Ende von B in dem entgegengesetzt elektrischen Zustande, da hier jetzt weniger E als unter gewöhnlichen Umständen vorhanden ist.

Man muss sich vorstellen, dass durch die Wirkung des Druckes, welchen das auf A angehäuften E auf B ausübt, die elektrischen Sphären des letzteren von der Seite c nach der entgegengesetzten d eine Verschiebung erleiden, so dass die Dichte des E von jener nach dieser Seite hin allmähig zunimmt und bei d selbst ihren grössten Werth erreicht. Denkt man sich nun B durch Querschnitte in unendlich dünne Schnitte zerlegt, so kann man auf der Oberfläche von c ausgehend, jeden vorhergehenden Schnitt in Bezug auf den nachfolgenden für positiv elektrisch, und umgekehrt, wenn man von d ausgeht, jeden vorhergehenden in Hinsicht auf den folgenden als negativ elektrisch ansehen.

Gibt man derjenigen Elektricität, welche während der Verthei-

lung an der einen Seite eines Leiters angehäuft ist, eine hinreichende Ableitung, so geräth der Leiter auf seiner Oberfläche in einen gleichartigen elektrischen Zustand, welcher dem des vertheilend wirkenden Körpers entgegengesetzt, also in unserem Falle positiv elektrisch ist. In dem Moment, wo die in dem Leiter B aufgeregte freie Elektricität abgeleitet wird, gelangt das Ende d wieder in seinen natürlichen elektrischen Zustand, so dass die hier hängenden Pendel zusammenfallen. Nach der Entfernung aus der Wirkungssphäre jenes Körpers erscheint B positiv elektrisirt, weil es nun gerade so viel E weniger enthält, als durch die Wirkung des bekannten Druckes zur freien Thätigkeit aufgeregt und durch Verbindung mit der Erde abgeleitet ist.

Wäre A positiv elektrisirt, d. h. hätte es weniger Elektricität als im gewöhnlichen Zustande, so würde das auf B vorhandene Elektricum, dessen Elemente sich unter gewöhnlichen Umständen in nicht beträchtlicher Spannung befinden, sich nach A hinwenden, so dass nun bei c eine Verdichtung, bei d aber eine Verdünnung des E stattfände. Um diesen Fall bildlich darzustellen, hat man also nur die Zeichen $+$ und $-$ in der Figur miteinander zu vertauschen. Bringt man den Leiter B, während der positiv elektrische Körper A noch in der Nähe ist, mit dem Boden in leitende Verbindung, so wird ihm einiges E mitgetheilt, und er zeigt sich dann, nach der Entfernung von A, negativ-elektrisch.

Das an der anderen Seite von B angehäuften E übt wieder einen bestimmten Druck gegen seine Umgebung aus, so dass derselbe auf einen benachbarten Leiter C eine ähnliche Wirkung, wie A auf B, hervorzubringen vermag. Diese Wirkung ist aber lediglich eine secundäre, insofern ihre Ursache in dem elektrischen Drucke liegt, welcher von A ausgeht. Dieser ist es, welcher das E des Leiters B von c nach d hintreibt oder vielmehr verschiebt, und diese Verschiebung setzt sich fort bis zu dem Leiter C, der dann eine ähnliche Vertheilung wie B erleidet. Die Wirkung auf C findet auch dann noch statt, wenn das in B aufgeregte freie E durch eine leitende Verbindung mit dem Boden abgeführt und dadurch das von A abgewendete Ende gewissermassen in den natürlichen Zustand zurückversetzt ist. Damit fällt zwar die Wirkung des abgeleiteten E auf C fort, aber auch seine Gegenwirkung auf A. Das an dem einen Ende von B, nach der ableitenden Berührung, noch vorhandene E hat die Tendenz, sich so weit als möglich gleichmässig auf dem Leiter B auszu-

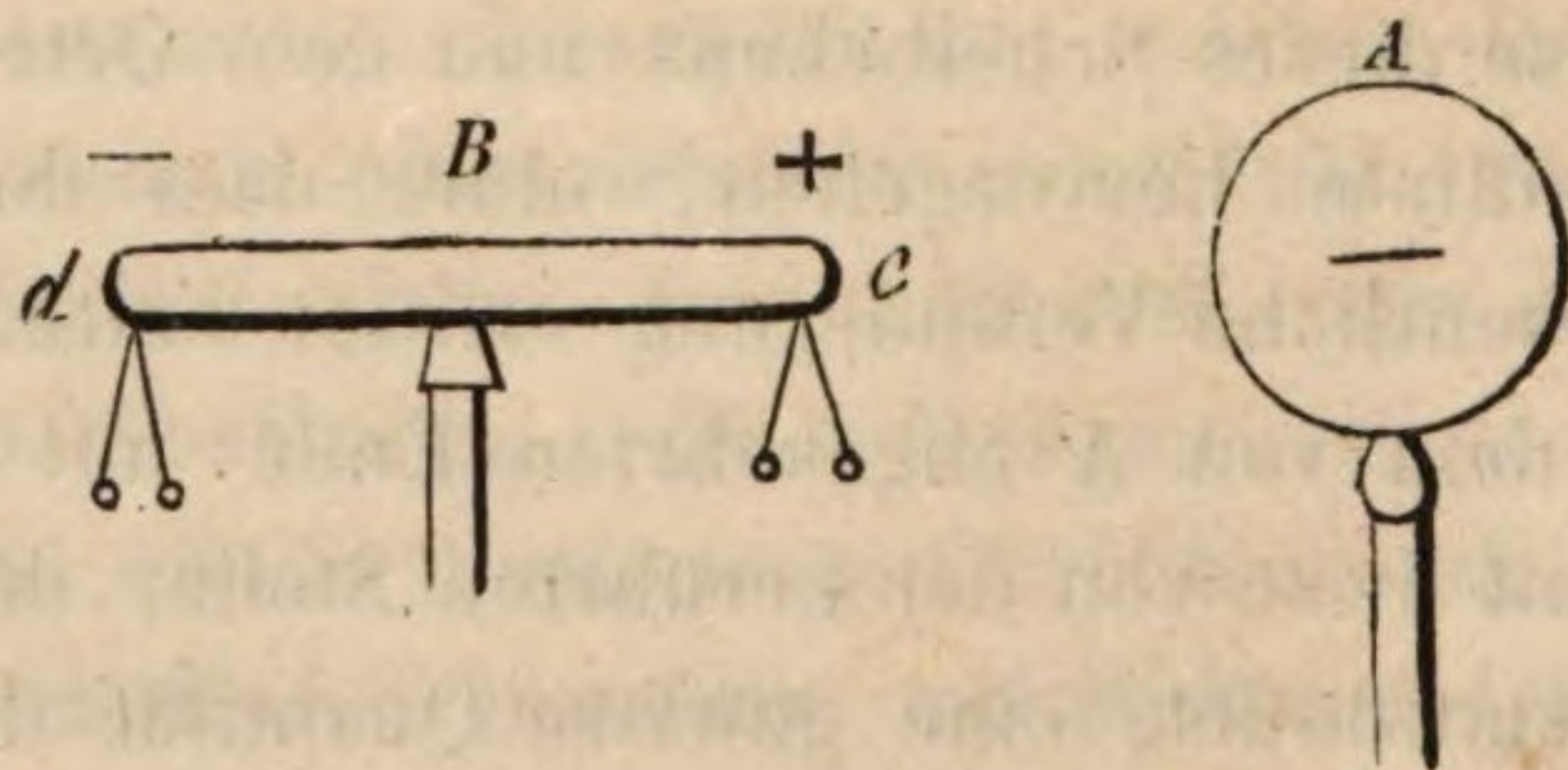
breiten, also zum Theil nach c hin vorzurücken, weil hier weniger E als im natürlichen Zustande vorhanden ist. Diesem Streben wird genügt, sobald B aus der Atmosphäre von A heraustritt, wodurch es auf seiner ganzen Oberfläche in einen gleichartigen Zustand geräth, der in unserem Falle positiv elektrisch ist, da es nun überall weniger E als im gewöhnlichen Zustande enthält. Bleibt aber B in der Nähe von A, so dauert jene Verschiebung des noch vorhandenen E von c nach d hin fort und unter sonst geeigneten Umständen auch die Fortpflanzung derselben auf den Leiter C.

25. Wenn nun zwei oder mehrere isolirte und im gewöhnlichen Zustande befindliche Leiter in bestimmten Entfernungen von einem elektrisirten Leiter aufgestellt sind, so kann der vertheilende Einfluss des letzteren sich auf alle erstrecken, und dabei werden sie sowohl aufeinander als auch auf den vertheilenden Körper zurückwirken. Diese gegenseitigen Einwirkungen müssen sich aber verändern, wenn der eine oder andere von jenen Leitern ableitend berührt wird, oder wenn beide eine abwechselnde Berührung erfahren. Auch darf nicht übersehen werden, dass ein mit der Erde verbundener Leiter, wenn er mit einem anderen in der Wirkungssphäre eines elektrisirten Körpers befindlichen Leiter in Berührung gebracht wird, mit diesem ein leitendes System ausmacht und selbst dem vertheilenden Einflusse mehr oder weniger ausgesetzt ist, wobei seine Lage gegen den berührten Leiter und namentlich auch die Ausdehnung seiner Oberfläche nicht ganz gleichgültig sein kann.

Berührt man den Leiter B, während er noch dem Einflusse von A ausgesetzt ist, mit einem isolirten Leiter, z. B. mit einem kleinen Metallscheibchen, das an einem Schellackstabe befestigt ist, so können je nach der Grösse dieses Scheibchens und dem Orte der Berührung abweichende Resultate hervorgehen, ohne dass der beschriebene Process eine wesentliche Veränderung erlitten hätte. Berührt man nämlich B an dem von A abgekehrten Ende mit der erwähnten Scheibe, so nimmt diese von der berührten Stelle, da hier eine Anhäufung des E stattfindet, eine gewisse Quantität des letzteren an. Dadurch wird nun nach Hinwegnahme der Scheibe, falls dieselbe nicht zu klein war, die Divergenz der Pendel bei d verringert, dagegen die der Pendel bei c vermehrt. Setzt man hingegen die isolirte Scheibe in der Nähe von c auf, so gibt dieselbe, da sie nun selbst unter dem elektrischen Drucke von A steht, einen Theil ihres eige-

nen Elektricum an die berührte Stelle ab, und der Erfolg ist nun, wenn sie hinweggenommen wird, der umgekehrte des vorigen Versuches. Bringt man den Leiter B aus der Wirkungssphäre von A, so erscheint er im ersten Falle positiv elektrisch, weil er in Folge der Berührung mit der isolirten Scheibe einiges E eingebüsst hat, dagegen im zweiten Falle negativ elektrisch, weil ihm von Seiten der Scheibe, in Folge der Wirkung von A, etwas E mitgetheilt worden ist. Hierher gehören auch einige von Fechner*) angestellte Versuche, deren Resultate sich auf Grund des Vorhergehenden ohne Schwierigkeit erklären lassen. Eine kupferne Kugel von 3 Zoll Durchmesser war mit dem innern positiven Belege einer isolirten kleinen Leidner Flasche verbunden und dieser Kugel gegenüber ein messingener Leiter, isolirt auf einem überfirnissten Glasfusse, aufgestellt. Dieser Leiter war cylindrisch von 5,2 Par. Linien Durchmesser, mit kugelförmigen Knöpfen von 8,3 Lin. Durchmesser an den Enden, und überhaupt 16 Zoll lang. In der nachstehenden Figur bezeichne A die Kugel und B den Leiter, dessen Gestalt hier freilich eine etwas andere ist. Der Abstand zwischen beiden betrug unter den angegebenen Umständen 2 Pariser Zoll. Bei Fechner's Versuchen war A positiv elektrisch, aber ohne Zweifel wird sich die Sache eben so (nur mit Umkehrung der Zeichen + und —) verhalten, wenn A negativ elektrisirt ist.

Wenn der Zeigefinger, bei übrigens eingeschlagener Hand, den Leiter bei c, senkrecht gegen dessen Länge berührt, so nimmt ein an einem Schellackstiele befestigtes Scheibchen aus Blattgold überall positive Elektricität vom Leiter auf, aber mit zunehmender Stärke nach c hin. Dies findet auch dann statt, wenn die Prüfungsscheibe



auf den berührenden Finger oder die Hand gesetzt wird. Sind bei d Goldblättchen vorhanden, so divergiren dieselben schwach, aber unzweideutig. Nachdem der Finger von c zurückgezogen, gibt die

*) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 332.

grössere Hälfte des Leiters nach d zu negative, die kleinere nach c zu positive Elektricität an die Prüfungsscheibe ab. Pendel von Goldblättchen bei d divergiren nicht unbeträchtlich.

Berührt man den Leiter bei d, so dass der Finger senkrecht auf dem Leiter ist, oder in dessen Verlängerung fällt, so gibt der ganze Leiter von c bis d und selbst die berührende Hand wieder positive Elektricität ab, gleichfalls wachsend nach c zu. Goldblättchen bei d zeigen keine oder doch nur eine zweideutige Divergenz. Die Elektricität bei d ist in diesem Falle so schwach, dass sie nur mit Hilfe der Prüfungsscheibe an einem Säulenelektroskop nachgewiesen werden kann. Wird der Finger von d zurückgezogen, so zeigt sich auch jetzt noch der ganze Leiter von d bis c positiv elektrisch, zunehmend nach c hin. — Nach der Berührung von c ist also der abgekehrte Theil des Leiters negativ, nach der Berührung von d aber schwach positiv elektrisch.

Wenn nun die Kugel A, wie in der Figur beispielsweise angenommen, negativ elektrisch oder mit E beladen ist, so treibt der von ihr ausgehende elektrische Druck sowohl das E des Leiters, als auch das des Fingers, der bei c aufliegen mag, zurück. Das von c nach d zurückgedrängte und verdichtete Elektricum muss jedoch, in Folge der Repulsion zwischen seinen Elementen, zum Theil in den Finger entweichen, welcher mit dem Boden in Verbindung steht. Dasselbe begegnet dem E der Prüfungsscheibe, wenn diese auf den Leiter oder auf die berührende Hand aufgesetzt wird, und so einen integrierenden Theil des leitenden Systems ausmacht. Die Scheibe wird also überall positive Elektricität anzeigen, aber natürlich im abnehmenden Grade nach d zu. Legt man den Finger bei d auf, so geschieht im Wesentlichen dasselbe wie zuvor, nur mit dem Unterschiede, dass das von c nach d verdrängte E nun freier in den Finger übergehen kann, der jetzt weniger dem vertheilenden Einflusse des A ausgesetzt ist. Wegen dieses freieren Abflusses des in B aufgeregten E erlangt das letztere keine solche Spannung, um eine merkliche Divergenz der bei d angebrachten Goldblättchen zu bewirken, was im vorigen Falle, wo der Abfluss ein gehemmter war, geschehen konnte. Aus demselben Grunde gibt die eine Hälfte des Leiters nach d zu merkliche negative Elektricität zu erkennen, wenn der Finger von c zurückgezogen wird, dagegen schwache positive Elektricität, wenn man den Finger von d zurückzieht.

26. Dem Uebergange der Elektricität aus dem einen Körper in den anderen oder der Mittheilung der Elektricität geht allemal eine elektrische Vertheilung voraus. Nähert man A, das wieder, wie in der Figur angegeben, negativ elektrisch sein mag, bis auf eine gewisse Entfernung dem Leiter B, so kann das auf A wirksame Elektricum den isolirenden Widerstand der Luft überwinden und in der Form eines elektrischen Funkens zum Theil nach B übergehen. Das übergehende Quantum entspricht genau der Wirksamkeit des elektrischen Druckes, und die nach der Erscheinung des Funkens auf B angehäuften Menge negativer Elektricität ist jedenfalls gleich dem Verluste, den A erlitten hat, oder auch gleich derjenigen Quantität freier Elektricität, welche durch die Wirkung jenes Druckes in B aufgeregt ist. Man erkennt nun leicht, dass der Uebergang des E von A nach B leichter und aus grösserer Entfernung stattfinden wird, wenn der Leiter B während des vertheilenden Einflusses von A mit der Erde in leitender Verbindung steht. Denn das in B vorhandene Elektricum, welches durch die elektrische Wirksamkeit von A anders vertheilt, nämlich von c nach d hin verschoben wird, übt eine bestimmte Gegenwirkung aus, die wegfällt, wenn man ihm durch eine leitende Verbindung mit der Erde Gelegenheit zum Entweichen gibt. Ist A positiv elektrisch, so sammelt sich das dem Leiter B eigenthümliche Elektricum in c an, um von hier nach A überzugehen. Auch in diesem Falle wird der Uebergang begünstigt, wenn B durch einen Leiter mit der Erde verbunden ist. Denn dadurch, dass das auf B vorhandene E sich dem positiv elektrischen A zuwendet, und in dasselbe einzudringen sucht, erlangt B die Fähigkeit, eine gewisse Quantität neues E aufzunehmen, die ihm auch unter den angegebenen Umständen von der Erde zugeführt wird. Damit wächst aber das Streben des bei c angehäuften E, nach dem positiv elektrisirten A überzugehen.

Die sogenannte positive Elektricität hat also für uns keine andere Bedeutung als den eines Mangels an E; sie bezeichnet denjenigen Zustand eines Körpers, worin dieser weniger Elektricität als im gewöhnlichen Zustande enthält. Freie positive Elektricität bezieht sich aber auf einen solchen positiv elektrischen Zustand, welcher einen Körper befähigt, neues E mit einer gewissen Energie von aussen aufzunehmen. Die positive Elektricität ist, wie man allenfalls sagen kann, gewissermassen an einen Körper gebunden,

wenn derselbe ungeachtet des Mangels an E nicht im Stande ist, so viel des letzteren von einer bestimmten Seite her anzunehmen, als zur Ausgleichung dieses Mangels nothwendig ist. Dieser Fall kommt vor, wenn ein Leiter (s. Figur S. 36) unter dem Einflusse eines negativ elektrisirten Körpers steht. Der von A ausgehende elektrische Druck treibt dann bekanntlich das E des Leiters B von c nach d hin, so dass hier freie negative, dort aber gebundene positive Elektricität entsteht. Obgleich nun das an der Oberfläche von B haftende E von c nach d hin getrieben und folglich bei c weniger als sonst vorhanden ist, so kann diese Stelle doch nicht (durch eine leitende Verbindung mit der Erde) in den natürlichen Zustand zurückgeführt werden, weil dies sowohl der elektrische Druck, welcher von A ausgeht, als auch der Gegendruck des auf B zurückgetriebenen E verhindert. Diese sogenannte Bindung des positiv elektrischen Zustandes hängt übrigens ganz und gar von der Stärke des Druckes, also von der Stärke der Anhäufung des E auf dem Körper ab, von welchem der vertheilende Einfluss herrührt. Vollständig wird sie nur dann sein, wenn dieser Körper neben jenem E, das in den Leiter einzudringen sucht, noch einiges freie enthält. Dies ist aber beim Process der Vertheilung wohl immer der Fall, da das in dem Leiter B aufgeregte E (in Folge der Widerstände) stets weniger als das auf A vorhandene beträgt. Wird aber mit B ein Leiter in Berührung gebracht, so ist dieser selbst dem vertheilenden Einfluss von A mehr oder weniger ausgesetzt, und es wird dann in der bereits angegebenen Weise eine Veränderung bezüglich der elektrischen Zustände von B eintreten. Wenn man nun den Leiter B, nachdem ihm das durch die Vertheilung hervorgebrachte freie E entzogen worden ist, aus der Wirkungssphäre von A entfernt, so wird nunmehr auch sein positiv elektrischer Zustand frei, d. h. das E anderer Körper, welche in seine Nähe kommen, wird sich nicht allein zu ihm hindrängen, sondern auch er selbst wird so viel davon aufnehmen, als zur Wiederherstellung seines gewöhnlichen Zustandes nöthig ist. Ist A positiv elektrisch, so zieht sich das Elektricum des Leiters B bekanntlich von c nach d hin; hier entsteht gebundene negative Elektricität, in so fern sie nämlich vorzugsweise das Bestreben hat, in das positiv elektrische A einzudringen, bei d aber freie positive Elektricität, da hier so viel hinweggegangen als bei c angehäuft ist. Soll nun in diesem Falle die negative Elektricität möglichst vollständig gebunden werden, so muss

auf dem vertheilenden Körper A noch etwas freie positive Elektricität vorhanden sein, d. h. dieser Körper muss die Fähigkeit haben, noch etwas mehr E aufzunehmen, als er bei einem bestimmten Abstände vom Leiter B durch diesen letzteren überhaupt empfangen kann.

27. Die Vorgänge der elektrischen Vertheilung lassen sich auch leicht mit Hilfe eines gewöhnlichen Strohhalm- oder Goldblattelektrometers verdeutlichen. Nähert man der Platte dieses Instrumentes von oben einen elektrisirten Körper, z. B. einen negativen, so wird man alsbald einen Ausschlag der Pendel bemerken. Durch die Einwirkung des elektrischen Druckes ist nämlich das im Instrumente vorhandene Elektricum nach unten in die Pendel getrieben worden, so dass diese nun als negativ elektrisirt einander abstossen müssen. Berührt man aber die Platte ableitend mit dem Finger, so geht in diesen die zurückgetriebene freie Elektricität des Instrumentes über. Damit kehren die Pendel, sofern der vertheilende Körper noch in der Nähe ist, in den gewöhnlichen Zustand zurück, indem sie so viel E abgeben, als in ihnen frei war. Ihr Ausschlag verschwindet. Das ganze leitende System des Instrumentes enthält nun gerade um die abgeleitete Quantität weniger E als im gewöhnlichen Zustande. Entfernt man jetzt den elektrischen Körper, so erfolgt wieder ein Ausschlag in Folge positiver Elektricität, indem die Pendel von den elektrischen Sphären des umgebenden Mediums angezogen werden. Nähert man dann den negativ elektrischen Körper von Neuem, so fallen die Pendel wieder zusammen, und man ist auch nicht im Stande, den positiv elektrischen Zustand des Apparates durch Zuleitung von E aus dem Boden aufzuheben, falls nur die negative Elektricität des genäherten Körpers noch mächtig genug ist. Der Grund ist klar. Der elektrische Druck dieses Körpers treibt wieder diejenige Quantität von E in die Pendel, welche im Augenblick seiner vormaligen Hinwegnahme und nach der ableitenden Berührung der Platte in ihnen enthalten war, und die ihren natürlichen elektrischen Zustand bedingte. Sie können also nicht mehr divergiren. Aber das Instrument kann auch kein E von der Erde (zur Wiederherstellung seines gewöhnlichen Zustandes) aufnehmen, weil dies der Druck der freien negativen Elektricität des in der Nähe befindlichen Körpers nicht gestattet, indem vielmehr diese selbst in das Instrument einzudringen sucht, und bei hinreichender Annäherung auch wirklich eindringt. —

Wenn ein schlechter Leiter der Elektricität, der also der letzteren

keine freie Bewegung gestattet, in die Nähe eines elektrischen Körpers gebracht wird, so erstreckt sich dessen unmittelbare Einwirkung nur auf einen verhältnissmässig sehr kleinen Theil des Isolators. Wir wollen annehmen, der Cylinder B (Fig. S. 36) sei ein Glasstab oder eine Glasröhre mit abgerundeten Enden; dann wird durch die Wirkung des negativ elektrischen A das Elektricum an dem vorderen Ende der Glasröhre auf eine gewisse Strecke zurückgetrieben, so dass an einer bestimmten Stelle rings um das Glas eine Anhäufung des E bewirkt wird. Indem dies so in abnehmendem Grade fortgeht, bildet sich auf der Oberfläche des Glases eine Reihe von Zonen, die abwechselnd positiv und negativ elektrisch sind.

28. Nach Faraday's Versuchen hängt die Menge der durch Vertheilung hervorgerufenen Elektrizität nicht nur von der Entfernung des vertheilenden Körpers, sondern auch von dem isolirenden Zwischenkörper ab. Trockne Gase machen hierin keinen sehr merklichen Unterschied, während bei nicht leitenden, festen und flüssigen Körpern (wie bei Schellack, Schwefel, Terpentinöl) die Wirkung grösser als bei der Luft ist. Faraday stellte drei runde Messingscheiben, die auf isolirenden Säulen befestigt waren, parallel in gleichen Abständen neben einander auf, und theilte der mittleren Scheibe eine bestimmte, z. B. positive Elektrizität mit. Alsdann zeigten sich, nach dem bekannten Gesetze der elektrischen Vertheilung, die der mittleren Scheibe zugewandten Seiten der beiden äusseren Scheiben negativ und die abgewandten Seiten gleich stark positiv elektrisch. Wurde aber zwischen die mittlere Scheibe und eine der äusseren eine gleich grosse Schellackscheibe eingeschoben, so zeigte sich hier eine stärkere Vertheilung als an der anderen Scheibe, welche blos durch eine gleich dicke Luftschicht von der mittleren getrennt war. Hiernach pflanzt also ein isolirender Zwischenkörper den vertheilenden Einfluss um so vollständiger auf einen Leiter fort, je weniger er selbst der Vertheilung fähig ist.

Die elektrischen Sphären eines Nichtleiters oder vielmehr eines sehr schlechten Leiters sind vergleichbar den Theilchen einer tropfbaren Flüssigkeit, welche einen auf ihrer Oberfläche angebrachten Druck gleichmässig nach allen Richtungen fortpflanzt, ohne dass die Theilchen dabei merklich aus ihrer Gleichgewichtslage heraustreten. So pflanzen auch die elektrischen Sphären eines isolirenden Mediums den elektrischen Druck von der einen Seite nach

der anderen fort, ohne dabei eine beträchtliche Ortsveränderung zu erfahren, und in je geringerem Masse dies geschieht, d. h. je weniger das schlecht leitende Medium selbst der elektrischen Vertheilung fähig ist, desto reiner und besser werden die Phänomene der letzteren in den angrenzenden Leitern von Statten gehen. Die elektrischen Sphären der Leiter lassen sich aber vergleichen mit den Theilchen einer expansibeln Flüssigkeit, die durch einen Druck leicht comprimirt wird und in der Richtung desselben eine beträchtliche Verschiebung ihrer Theilchen erleidet.

29. Auf dem Gesetze der elektrischen Vertheilung beruht die Wirkung mehrerer für die Elektricitätslehre bedeutungsvoller Apparate, die alle darin übereinkommen, dass bei ihnen ein Isolator zwischen zwei Leitern sich befindet. Es gehören hierher die Franklin'sche Tafel und Leidner Flasche, der Condensator und Elektrophor.

Die Franklin'sche Tafel ist bekanntlich eine Glasscheibe, welche gewöhnlich mit Stanniol auf beiden Seiten so belegt ist, dass das Glas nach dem Rande hin um eine gewisse Breite frei bleibt. Diese unbelegten Stellen pflegt man der bessern Isolirung wegen noch mit Firniss zu überziehen. Die Leidner Flasche ist aber bekanntermassen nur der Form nach von der Franklin'schen Tafel verschieden. Steht nun die eine Belegung A mit irgend einer Quelle der Elektricität (z. B. mit dem negativ elektrisirten Conductor einer thätigen Elektrisirmaschine) in Verbindung, so wird sie so viel Electricum aufnehmen, bis auf ihr und dem Conductor dieselbe elektrische Spannung stattfindet. Das auf A sich ansammelnde Electricum wird nun durch die elektrischen Sphären des Glases hindurch einen bestimmten Druck auf das im Gleichgewichtszustande befindliche E der anderen Belegung B ausüben, so dass ein diesem Drucke entsprechender Antheil desselben in den Boden getrieben wird, falls dieser letztere mit der Belegung B in leitender Gemeinschaft steht. Während dies aber geschieht, findet eine andere Anordnung der elektrischen Elemente auf der Belegung A statt. Dieselben ziehen sich nämlich, da der Gegendruck von der entgegengesetzten Seite her geringer geworden, mehr nach dieser Seite oder dem Glase hin, so dass dann in dem Masse, als dies statt hat, ihre Spannung nach aussen (d. h. nach der Elektricitätsquelle) zu sich vermindert; und die Belegung nimmt nun wieder so viel neues E aus dieser Quelle auf, bis zwischen ihr und der letzteren abermals dieselbe Spannung oder

das elektrische Gleichgewicht eingetreten ist. Beide Belegungen befinden sich jetzt in entgegengesetzt elektrischen Zuständen; die eine A enthält mehr, die andere B weniger E als im gewöhnlichen Zustande, oder jene ist negativ, diese positiv elektrisch. Der positiv elektrische Zustand von B wird aber gewiss um so entschiedener hervortreten, je grösser die Anhäufung des E auf der Belegung A ist. Die letztere enthält indessen mehr Elektricum, als zur Ausgleichung des entgegengesetzt elektrischen Zustandes auf B nöthig ist. Das Gegentheil würde erfordern, dass das auf A sich ansammelnde E eine ihm gleiche Quantität auf der Belegung B zurückdrängte, was wegen des vorhandenen Widerstandes nicht möglich ist. Das auf A wirksame E zerfällt hiernach gewissermassen in zwei Quantitäten, von denen die eine nach B in den hier vorhandenen freien Raum einzudringen sucht, was aber durch den Widerstand der elektrischen Sphären des Glases verhindert wird. Die andere wirkt dagegen frei nach aussen. Doch ist der nach B gerichtete elektrische Gesamtdruck und der Grad des entgegengesetzt elektrischen Zustandes, welcher hier auftritt, durch beide Quantitäten zugleich bedingt.

Nimmt man das freie E der Belegung A hinweg (etwa durch Berührung mit dem Finger), so wird der elektrische Druck nach der Belegung B hin schwächer, und diese letztere wird deshalb wieder empfänglich für einiges neue E, das man ihr dadurch, dass man sie mit dem Finger berührt, geben kann. Aber hiermit entsteht auch wieder ein neuer Gegendruck nach A hin, welcher zur Folge hat, dass auf der eben genannten Belegung wieder etwas E frei wird, das sich in derselben Weise hinwegnehmen lässt. So kann man die Flasche durch abwechselnde Berührung der einen und dann der anderen Belegung vollständig entladen, was auch schon, nur ganz allmählig, von selbst geschieht, indem die Belegung A der Luft einiges E mittheilt, während die andere B eine entsprechende Quantität von derselben empfängt. Will man die Flasche mehr mit einem Male entladen, so gebraucht man den bekannten Auslader, der aus einem krumm gebogenen, in Kugeln endigenden Metalldrahte besteht und mit einer isolirenden Handhabe von Glas versehen ist. Berührt man nun diejenige Belegung, welche freies E enthält, mit der einen Kugel und nähert man hierauf die andere Kugel der gegenüberstehenden Belegung B, so wird sich das freie E auf dem Auslader verbreiten, und die Belegung B dadurch die Fähigkeit erlangen, einiges E von der

benachbarten Kugel des Ausladers aufzunehmen, indem das eigene E des letzteren sich in dieser Kugel verdichtet, um in den auf der Belegung B entstandenen freien Raum einzudringen. Und dies geschieht auch wirklich, sobald die Kugel der Belegung B so weit genähert ist, dass die elektrische Spannung die zwischenliegende Luftschicht durchbrechen kann. Das übergehende E erscheint dabei als Funken mit lebhaftem Lichte und dem bekannten Geräusche.

Bringt man aber die eine Kugel des Ausladers mit derjenigen Belegung in Berührung, welche kein freies E enthält, also in unserem Falle mit der Belegung B, während man die andere Kugel der negativen Belegung A nähert; so wird das freie E der letzteren vertheilend auf das E der genäherten Kugel wirken, d. h. dasselbe nach jener Kugel hintreiben, welche mit der positiven Belegung B in Berührung ist. Aber eben, indem dies geschieht, lässt der Druck, welcher von der negativen Belegung A nach der positiven B gerichtet ist, nach und die letztere nimmt einiges E von der Kugel des Ausladers, die mit ihr in Berührung ist, an. Dadurch wird nun der Druck von A nach B hin noch mehr geschwächt, und die Repulsion der elektrischen Elemente auf A wendet sich jetzt vorzugsweise der angenäherten Kugel zu, deren eigenes E nach der anderen Kugel hin gedrängt ist. Bei hinreichender Annäherung jener Kugel erfolgt der Uebergang des Elektricum (von Seiten des A) und damit auch die Entladung der Tafel.

Die grösste Entfernung, durch welche diese Entladung stattfindet, nennt man die *Hauptschlagweite*. Bringt man nun die eine Kugel des Ausladers der betreffenden Belegung noch etwas näher, so wiederholt sich der beschriebene Process und es ereignet sich eine zweite Entladung, u. s. f. bis zur vollen Berührung. Eine jede von diesen Entladungen besteht aber nach Riess aus einer Menge von Partialentladungen. Durch die erste Partialentladung erleidet nämlich die zwischenliegende Luftschicht eine Verdünnung, wodurch ihr isolirender Widerstand sich vermindert, und da sie überdies mit leitenden Metalltheilchen angefüllt wird, welche im Act der Entladung von den betreffenden Körpern losgerissen werden, so können bei derselben Schlagweite, ungeachtet der abnehmenden elektrischen Spannung, mehrere Entladungen rasch hintereinander stattfinden, die man aber als Eine Entladung auffasst.

Berührt man jede Belegung mit einem Metalldrahte, so wird der

eine Draht, welcher mit A verbunden ist, von diesem einiges E annehmen, während gleichzeitig der andere Draht ein entsprechendes Quantum seines eigenen E der Belegung B zuführen wird. Dadurch gerathen nun die Drähte in entgegengesetzt elektrische Zustände, die sich von den Belegungen aus nach den freien Enden der Drähte (von einem Querschnitt zum anderen) fortpflanzen, oder, was dasselbe ist, man hat gleichzeitig zwei elektrische Ströme von entgegengesetzter Richtung, indem in beiden Drähten eine Verschiebung des E nach entgegengesetzten Seiten stattfindet. Werden aber die freien Enden beider Drähte einander allmählig genähert, so geschieht bei einer gewissen Entfernung derselben eine Entladung, d. h. eine Ausgleichung jener entgegengesetzt elektrischen Zustände, und zwar in der oben beschriebenen Weise, wo die eine Kugel des Ausladers mit der Belegung A oder B in Berührung stand, während die andere Kugel der zweiten Belegung genähert wurde. Lässt man jedoch beide Drahtenden hinreichend weit auseinander, so dass keine vertheilende Wirkung derselben aufeinander möglich ist, so kann eine neue Entladung der Belegungen A und B nicht eher wieder stattfinden, als bis man beide Drähte in den unelektrischen Zustand zurückgeführt hat. Wenn dagegen die Leiter, welche mit den Belegungen in Berührung stehen, im Verhältnisse zur Oberfläche der letzteren ausserordentlich gross sind, so werden diese vollständig entladen. Die Bedingung einer vollständigen Entladung beider Belegungen ist nämlich nur die, dass die mit den letzteren in Verbindung stehenden Leiter eine hinreichend grosse Oberfläche darbieten, so dass der eine, welcher mit A verbunden ist, von diesem alles Elektricum, das hier nach und nach hervortritt, vollständig aufnehmen kann, ohne dadurch längs seiner ganzen Oberfläche in eine beträchtliche elektrische Spannung versetzt zu werden. Und ebenso muss auch der andere Leiter eine hinreichend grosse Oberfläche darbieten, damit er jeden Augenblick geschickt ist, der Belegung B diejenige Quantität von E zuzuführen, welche dieselbe, in Folge des Abflusses auf der anderen Seite A, in sich aufnehmen kann. Diese Bedingung einer vollständigen Entladung wird nun auch erfüllt, wenn man beide Belegungen durch Drähte mit der Erde leitend verbindet. Dabei kommt aber die zwischen den beiden Drahtenden liegende Erdschicht gar nicht in Betracht, falls diese Enden selbst sehr weit auseinander liegen. Während nämlich das E der Belegung A an dem einen Drahtende hervortritt

und sich hier ringsum auf der Erdoberfläche verbreitet, nimmt das andere Drahtende allenthalben Elektricität von der Erde an, um es der Belegung B zuzuführen. Riess*) verband die äussere Belegung einer Batterie mit den Gasröhren eines Hauses, die innere mit einem Drahte, der isolirt bis zum Erdboden geführt und mit seinem Ende darin versenkt wurde. In jedem der beiden Drähte zeigten sich dann alle Wirkungen, die an einem vollkommenen Schliessungsbogen hervortreten, und mehrere bei den Versuchen selbst auftretende Erscheinungen sprachen gegen die Annahme, als ob die zwischen den Drahtenden liegende Erdschicht eine volle Schliessung der Batterie bewirke.

Da die Belegung A, welche mit der Elektricitätsquelle in Berührung war, mehr E enthält, als zur Ausgleichung des entgegengesetzt elektrischen Zustandes der Belegung B nothwendig ist, so wird sich dieser Ueberschuss bei der Entladung frei über dem Schliessungsbogen verbreiten und unter Umständen durch eine bestimmte Wirkung nach aussen zu erkennen geben. Dies ist der Fall in der von Riess genauer untersuchten Seitenentladung, welche beobachtet wird, wenn man normal zum Schliessungsbogen der Leidner Flasche oder Batterie einen Seitendraht befestigt. Das im Gleichgewichtszustande befindliche E des letzteren erfährt dann den vertheilenden Einfluss jenes Ueberschusses von E, was man an einem mit dem Seitendrahte verbundenen Elektroskope wahrnehmen kann.

Bringt man die Belegung A nicht, wie wir uns oben dachten, mit einem Körper in Berührung, auf dessen Oberfläche das E angehäuft ist, sondern im Gegentheil mit dem positiv elektrischen Conductor einer Elektrisirmaschine, der also während der Thätigkeit der letzteren seines eigenen Elektricitäts in gewisser Masse beraubt ist; so wird dieselbe diesem Conductor etwas von ihrem eigenen E abgeben, bis sie mit ihm in gleichem Masse positiv elektrisch ist. Während dies nun geschieht, wird das E der Belegung B sich anders gruppiren; es zieht sich nach dem Glase gegen die Belegung A hin, weil nun der elektrische Druck nach dieser Seite zu das Uebergewicht hat. Dadurch wird aber die elektrische Spannung der Belegung B nach aussen hin schwächer, so dass letztere, wenn sie mit der Erde

*) Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 214 — 223.

leitend verbunden ist, eine gewisse Quantität E von derselben aufnehmen kann. Und die nothwendige Folge hiervon ist wieder, dass der Druck nach A hin verstärkt und demgemäss ein neues Quantum E aus dieser Belegung herausgetrieben wird, das der Conductor aufnimmt, um mit A wieder auf denselben Grad positiv elektrischer Spannung zu kommen. Die Belegung A enthält nun mehr positive Elektricität, als zur Ausgleichung des entgegengesetzt elektrischen Zustandes auf B nöthig ist, oder was dasselbe besagt, der auf ihr vorhandene Mangel an E ist so gross, dass derselbe durch das, was diese Belegung durch die Entladung empfängt, nicht vollständig ersetzt werden kann. Befestigt man nun normal zum Schliessungsbogen einen Seitendraht, so erfährt das E des letzteren, vermöge des Ueberschusses positiver Elektricität auf ersterem, eine Vertheilung, indem es nach dem Schliessungsbogen hindrängt. Ein mit dem Seitendrahte verbundenes Elektroskop zeigt dann wieder die der Belegung A gleichnamige Elektricität, d. h. also hier den positiv elektrischen Zustand an. Die Erscheinungen sind hier sonst ganz dieselben, wie oben, und der Unterschied liegt nur darin, dass der herrschende elektrische Druck in Folge der veränderten Anordnung des E von B nach A gerichtet ist.

30. Der Condensator, den man bekanntlich da gebraucht, wo eine Elektricitätsquelle von geringer, aber constanter Dichtigkeit untersucht werden soll, besteht gewöhnlich aus zwei gleichen, möglichst ebenen Metallscheiben, von denen jede auf der einen Fläche mit einer dünnen Firnissschicht gleichmässig überzogen ist. Beim Gebrauche werden beide Scheiben (Platten) so aufeinander gelegt, dass sie durch die eben erwähnten dünnen Firnissschichten von einander getrennt sind. Doch kann statt der Firnissschicht bekanntermassen auch eine dünne Luftschicht als isolirendes Zwischenmittel dienen, indem man beide Scheiben während des Gebrauches in einem bestimmten Abstände von einander hält. Die Platte a (s. umstehende Figur), welche mit der Elektricitätsquelle in Verbindung gesetzt wird, nennt man die Collectorplatte, die andere b aber, welche mit einer Handhabe h aus Glas oder Schellack versehen ist, die Condensatorplatte. Die Platte a verbindet man zweckmässig mit einem Elektroskop. Dieselbe trägt seitlich einen Draht mit einem kleinen metallenen Knopfe, an dem man den auf seine Elektricität zu untersuchenden Körper anzulegen pflegt.



Man denke sich nun mit der Collectorplatte a eine Elektrizitätsquelle von geringer Spannung in Berührung, und zwar beispielsweise so, dass derselben dadurch negative Elektrizität zugeführt werde. Die Platte a wird dann so viel E aufnehmen, bis zwischen ihr und der Elektrizitätsquelle das Gleichgewicht der elektrischen Spannung eingetreten ist. Bringt man nun die Condensatorplatte b nahe, so wird das auf a verbreitete Electricum, vermöge des von ihm ausgehenden elektrischen Druckes, vertheilend auf b wirken, indem es das dieser Platte inwohnende E nach der entgegengesetzten Seite hin verschiebt. Steht aber die Condensatorplatte b mit der Erde in leitender Verbindung, so theilt sich dieser ein Theil des in b aufgeregten E mit, und während dies geschieht, findet eine andere Anordnung der elektrischen Elemente in a statt, indem dieselben sich vorzugsweise nach der oberen der Platte b zugekehrten Fläche hinziehen. So nimmt nun die Dichtigkeit des E auf der unteren Fläche von a und in dem Zuleitungsdrahte ab, und die Platte a kann wieder ein neues Quantum E aus der Elektrizitätsquelle aufnehmen, bis zwischen beiden sich abermals das elektrische Gleichgewicht hergestellt hat. Nimmt man jetzt, nach Entfernung der Elektrizitätsquelle, die Condensatorplatte b in bekannter Weise hinweg, so wird das auf a verdichtete E frei, und es erfolgt ein Ausschlag des Elektroskopes.

Wäre der Knopf an a mit einem positiv elektrisirten Körper in Berührung, so würde der Platte a ein Theil ihres eigenen E (bis zur Herstellung des elektrischen Gleichgewichtes) entzogen werden, und das der Condensatorplatte b eigenthümliche E dadurch eine andere Anordnung erfahren, nämlich nach der untern Fläche von b (d. h. nach der Seite des schwächeren elektrischen Druckes hin) sich herabziehen. Hierdurch erlangt aber die Platte b nothwendiger Weise die Fähigkeit, einiges E von der Erde, falls sie mit derselben in leitender Verbindung steht, anzunehmen, und in Folge dessen wächst der elektrische Druck gegen die Platte a hin, so dass diese genöthigt wird, eine grössere Quantität E an den mit ihr in Berührung stehenden Körper abzugeben, als sonst (d. h. ohne Mitwirkung der Condensatorplatte) möglich gewesen wäre. Während dies aber geschieht, wird ohne Zweifel die Intensität des positiv elektrischen Zustandes

auf dem an a befestigten Drahte abnehmen, ebenso wie in vorigem Falle die Dichtigkeit der negativen Elektricität.

Der Process der elektrischen Vertheilung scheint bei grossen Condensatoren besser als bei kleinen von Statten zu gehen, indem wohl auch die Zu- und Ableitung des E von und nach der Erde mit grösserer Leichtigkeit geschieht. Man hat nämlich die Erfahrung gemacht*), dass grössere Scheiben eine stärkere Condensation als kleinere gewähren, da der sogenannte Vertheilungscoefficient oder das Verhältniss der ohne und mit Condensation aufgenommenen Elektrizitätsmenge bei jenen grösser als bei diesen ist, so dass also der grössere Condensator nicht nur eine absolut, sondern auch eine relativ grössere Ansammlung verträgt. Dieses Uebergewicht der grossen Condensatoren über die kleinen wird nach Versuchen von Riess um so grösser, je kleiner die Entfernung ihrer Scheiben ist, und verschwindet bei einer grossen Entfernung gänzlich.

31. Bei dem Elektrophor ist die Einrichtung gleichfalls so getroffen, dass ein isolirendes Mittel, etwa ein ebener, dünner Harzkuchen oder eine Glasscheibe zwischen zwei Metallplatten sich befindet. Doch wird hier nicht wie bei der Leidner Flasche oder dem Condensator die eine Metallplatte, sondern die eine Fläche des Isolators (Harzkuchens) durch Mittheilung elektrisirt. Die metallische Unterlage des Kuchens nennt man die Form oder den Teller, die auf dem Kuchen liegende Metallplatte aber, die mit einer isolirenden Handhabe versehen ist, den Deckel.

Man mache nun den Kuchen auf seiner Oberfläche durch Reiben mit Pelzwerk negativ elektrisch, während die Form mit dem Boden leitend verbunden ist. Dann übt das auf jener Oberfläche sich sammelnde E einen Druck aus, der zum Theil durch die elektrischen Sphären des Harzes hindurch auf das E der Form wirkt, so dass dieses theilweise nach der dem Kuchen entgegengesetzten Fläche und von da in den Boden entweicht. Hierdurch wird es nun, nach dem schon erörterten Princip der Condensation, möglich, dass auf der Oberfläche des Harzes sich eine grössere Menge von E ansammelt, als sonst geschehen würde.

*) Vergl. Munk af Rosenschöld. Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 367 und Riess ebenda Bd. LXXIII. S. 394.

Setzt man jetzt den isolirten Deckel auf den Kuchen, so muss er an seiner oberen Fläche mit diesem gleichnamig, nämlich negativ elektrisch werden, weil das an der Oberfläche des Kuchens angehäuften E die Elektricität des Deckels von der unteren nach der oberen Fläche treibt. Hier gibt sich dieselbe sogleich als frei zu erkennen, wenn man einen Finger hinreichend nähert, auf den sie dann als Funke übergeht. Hat man dem Deckel auf diese Weise sein freies E entzogen, so ist es eine natürliche Folge davon, dass der Druck des auf der Oberfläche des Kuchens verbreiteten Elektricums sich ganz dem Deckel zuwendet, da derselbe hier den geringsten Widerstand findet. So lange nun der Deckel unter der Einwirkung dieses Druckes steht, kann er, als positiv elektrisch, kein E aus der Nähe aufnehmen; hebt man ihn aber an der isolirenden Handhabe vom Kuchen auf, so ist er sehr wohl im Stande, dem angenäherten Finger einen lebhaften Funken zu entlocken.

Ist die Form isolirt, so muss dieselbe gleich nach dem Reiben des Kuchens, wie aus dem oben Angeführten erhellt, sich negativ elektrisch erweisen, ebenso der Deckel, wenn er aufgesetzt wird, wobei aber die Elektricität der Form an Intensität abnimmt, da jetzt der elektrische Druck an der Oberfläche des Harzkuchens sich vorzugsweise dem zunächst gelegenen Deckel zuwendet. Dadurch wird nun eben der Druck nach der entgegengesetzten Seite (d. h. nach der Form) hin geschwächt, so dass die elektrischen Elemente der Form eine andere Anordnung erleiden, indem dieselben sich nach der oberen Fläche, welche mit dem Kuchen in Berührung ist, hinwenden. Es wird also diese Fläche der Form negativ, ihre untere aber positiv elektrisch sein, während die obere Fläche des Deckels gleichfalls negativ elektrisch erscheint. Werden nun Deckel und Form durch zwei Finger in leitende Verbindung mit einander gebracht, so erhält man den bekannten Stoss, worauf weder Deckel noch Form ein Zeichen freier Elektricität geben können. Denn dadurch, dass der Deckel sein freies E an den Finger abgegeben und die an ihrer untern Fläche positiv elektrische Form von dem anderen Finger einiges E empfangen hat, besteht Gleichgewicht in dem ganzen Apparat, das aber sofort aufgehoben wird, wenn man den Deckel hinwegnimmt. Deckel und Form müssen dann freie Elektricität zeigen, und zwar jener positive, weil er das E, welches ihm inwohnte, mehr oder

weniger entlassen, diese hingegen negative, da ihr durch Berührung mit dem Finger wirklich E zugeführt worden ist.

Wenn der Deckel bei isolirter Form auf dem Kuchen liegt, so übt das in ihm aufgeregte und an seiner oberen Fläche angesammelte E einen Gegendruck aus, welcher die Intensität des positiv elektrischen Zustandes an der unteren Fläche der Form vermindert. Entzieht man aber dem Deckel sein freies E, so findet der elektrische Druck, welcher von der Oberfläche des Kuchens ausgeht, nach dieser Seite hin keine Gegenwirkung mehr; derselbe pflanzt sich nun ganz auf den Deckel fort, und es geht ihm auch, so lange dieser letztere aufliegt, die Fähigkeit ab, rückwärts auf die elektrischen Sphären des Harzes und damit auf das E der Form zu wirken. Das letztere und jene Sphären dehnen sich jetzt um so mehr nach oben hin, so dass nicht nur die untere Fläche der Form, sondern auch die des Harzes als positiv elektrisch betrachtet werden kann. Ist aber die Form nicht isolirt, so wird dieser ihr positiv elektrischer Zustand natürlich durch Zuleitung von Seiten der Erde ausgeglichen.

Der Kuchen verliert nun bekanntlich bei allen diesen Vorgängen nichts durch Mittheilung von seiner Elektricität, falls nur seine Oberfläche hinreichend eben und trocken ist; denn er wirkt nur durch Fortpflanzung des Druckes, welchen das auf ihm angehäuften E gegen die Umgebung ausübt. Das Princip der Erklärung bleibt aber ganz dasselbe, wenn man das isolirende Zwischenmittel an seiner oberen Fläche anstatt negativ durch Entziehung von E, d. h. positiv, elektrisirt. Der herrschende elektrische Druck hat dann nur im Vergleich zum vorigen Falle die entgegengesetzte Richtung. Setzt man nämlich den Deckel auf, so zieht sich das ihm inwohnende E nach seiner untern Fläche hin, und wenn man ihn jetzt mit dem Finger berührt, so nimmt er von diesem, da seine obere Fläche positiv elektrisch ist, einiges E an, so dass er nun, isolirt aufgehoben, freie negative Elektricität zeigt. Die Vertheilung des E in der Form ergibt sich hier nach leicht; sie ist die entgegengesetzte von der im vorigen Falle. — Die am Elektrophor auftretenden Erscheinungen beruhen also, wie auch fast alle anderen Erscheinungen der Elektricität, auf einem abgeänderten Druckverhältniss und der hierdurch bedingten Anordnung der elektrischen Elemente in den verschiedenen Theilen des Apparates.

32. Es ist bereits erörtert, dass die Verbreitung des freien E auf einem Leiter lediglich von der Gestalt der Oberfläche abhängt. Dies gilt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass nicht andere Leiter sich in der näheren Umgebung des elektrischen Leiters befinden. Im Gegentheil kommt alles dasjenige in Betracht, was wir von der Wirksamkeit des elektrischen Druckes oder von dem Gesetz der elektrischen Vertheilung (Influenz) zwischen elektrisirten und gewöhnlichen Leitern entwickelt haben. Kommt z. B. ein negativ elektrisirter Leiter in die Nähe eines anderen, der sich im gewöhnlichen Zustande befindet, so wissen wir, dass das Elektricum des ersteren sich vorzugsweise an den Punkten anhäuft, welche dem anderen zunächst liegen. Dasselbe findet natürlich noch mehr statt, wenn ein negativ elektrisirter Leiter einem positiv elektrisirten genähert wird. Wenn zwei mit freiem E behaftete Leiter, z. B. zwei isolirte Kugeln, einander gegenüberstehen, so treibt die elektrische Repulsion, welche von beiden ausgeht, das E eines jeden von der zugekehrten Seite nach der abgewendeten, so dass die Dichte des E an den zunächstliegenden Punkten am geringsten, an den voneinander entferntesten am grössten ist. Dieser Unterschied ist um so merklicher, je geringer die Entfernung beider Leiter ist, am grössten also bei unmittelbarer Berührung. Sind die sich berührenden Kugeln von ungleicher Grösse, so zeigt die kleinere eine stärkere elektrische Spannung als die grössere, wenn man ähnlich liegende Punkte beider Kugeln mit Hilfe der Probescheibe untersucht, und zwar erscheint die Differenz um so bedeutender, je kleiner die eine Kugel im Verhältniss zur anderen ist. Durch Aneinanderreihen von Kugeln, von denen jede folgende kleiner als die vorhergehende ist, kann die auf der kleinsten angehäuften Elektrizität beliebig verdichtet und ihre Spannung dergestalt gesteigert werden, dass sie der Luft sich leicht mitzutheilen vermag. Ein solches System von Leitern verhält sich also ähnlich wie ein conischer Leiter, an dessen Scheitel das angesammelte E die höchste Tension erreicht.

Der positiv elektrische Zustand muss, wie die negative Elektrizität oder das angehäuften E selbst, auf einer Kugeloberfläche gleichmässig, auf Leitern von anderer Gestalt aber ungleichmässig verbreitet sein. Bringt man das bekannte Probescheibchen mit der Oberfläche eines positiv elektrisirten Leiters in Berührung, so nimmt es den elektrischen Zustand der von ihm bedeckten Stelle an,

und zwar in unserem jetzigen Falle dadurch, dass es etwas von seinem eigenen E an dieselbe abgiebt. Dieser Verlust entspricht aber vollständig dem Grade des positiv elektrischen Zustandes an der berührten Stelle, und wird bei Leitern, deren Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen ungleich ist, nicht an allen Punkten derselbe sein. Wenn man nun eine positiv elektrisirte Kugel mit einer anderen kleineren und im gewöhnlichen Zustande befindlichen Kugel zusammenbringt, so wird auch diese positiv elektrisirt, indem sie jener ihr eigenes Elektricum zum Theil mittheilt, und ihr positiv elektrischer Zustand tritt gewiss um so merklicher hervor, je kleiner ihre Oberfläche im Verhältniss zur anderen Kugel ist. Reihet man auch hier eine gewisse Anzahl solcher Kugeln aneinander, von denen jede folgende kleiner als die vorhergehende ist, so wird die Intensität des positiv elektrischen Zustandes auf der kleinsten am grössten sein. Nimmt man aber statt eines solchen Systems von Leitern einen einzigen mit conischer Oberfläche, so ist es wieder der Scheitel oder die Spitze, an welcher der positiv elektrische Zustand den grössten Werth erreicht.

33. Man denke sich zwei bewegliche Körper, von denen der eine negativ, der andere positiv elektrisch in unserem Sinne ist, wonach der letztere also weniger E als im gewöhnlichen Zustande enthält. Werden nun beide Körper hinreichend genähert, so wird der von dem negativ elektrischen Körper ausgehende Druck zunächst auf die elektrischen Sphären der Luft wirken, so dass sich die letzteren nach dem positiv elektrischen Körper hindehnen und in diesen zum Theil eingreifen, ohne sich jedoch von den Molecülen der Luft zu trennen. Hierdurch wird aber dieser Körper offenbar zu dem negativ elektrischen hingezogen, und zwar wird die Anziehung fortwährend beschleunigt, indem der Körper nach Stellen kommt, in welchen der elektrische Druck stärker, also auch die Anziehung bedeutender ist. Sind beide Körper beweglich, so ist die Annäherung natürlich, wie die Anziehung, gegenseitig. Dass zwischen entgegengesetzt elektrisirten Körpern Anziehung stattfinden muss, folgt von selbst, wenn man bedenkt, dass das auf dem negativ elektrischen Körper angehäufte E das Bestreben hat, sich mit den Molecülen des positiv elektrisirten Körpers zu verbinden. Denkt man sich aber beide Körper überfüllt mit E oder, was dasselbe ist, negativ elektrisirt, so verbreiten sie beide jenen Druck gegeneinander, woraus Absto-

sung hervorgeht. Die Voraussetzung der Attraction ist also, dass der elektrische Druck nur von einem der beiden Körper ausgeht; denn nur dadurch ist es möglich, dass die Sphären des E in die Molecüle des anderen Körpers eingreifen und diesen zu jenem hinziehen. Es ist nun noch ein dritter Fall möglich, nämlich dass beide Körper positiv elektrisirt sind, oder dass sie weniger Electricum als die umgebende Materie enthalten. Die elektrischen Sphären der letzteren werden sich alsdann ringsum zu diesen Körpern hindehnen, um das elektrische Gleichgewicht wieder herzustellen, wodurch die Körper selbst nach entgegengesetzten Richtungen angezogen werden, was denn dem Beobachter den Schein einer gegenseitigen Abstossung gewährt.

Je stärker die Anhäufung des E, mithin auch je grösser die Dichte desselben auf der Oberfläche eines Körpers ist, desto stärker der elektrische Druck. Die Anziehung zwischen zwei entgegengesetzt elektrisirten Körpern wird also um so bedeutender sein, je grösser die Dichte des E in dem einen und je grösser der Mangel an E in dem andern Körper ist; denn um so stärker wird das Bestreben des auf dem negativen Körper angehäuften E sein, sich mit den Molecülen des positiven Körpers zu verbinden. Die Abstossung zwischen zwei positiv elektrisirten Körpern wächst aber mit der Grösse des Mangels an E, weil mit ihm die Anziehung zwischen den elektrischen Sphären der Umgebung und diesen Körpern in demselben Verhältnisse wachsen wird. Alsdann ist die Stärke der gegenseitigen Einwirkung zweier gleichnamig oder ungleichnamig elektrisirter Körper noch von ihrer Entfernung abhängig, und zwar wird dieselbe der sphärenartigen Ausbreitung der elektrischen Wirksamkeit wegen mit dem Quadrate der Entfernung abnehmen. Bezeichnet man also durch m die Elektrizitätsmenge, welche auf der Oberfläche eines Körpers angehäuft ist, durch m' die Grösse des Mangels an E auf der Oberfläche eines anderen Leiters, und endlich durch d die Entfernung derselben; so hat man nach der vorstehenden Betrachtung für die Gesamtstärke der wechselseitigen Anziehung zweier ungleichartig elektrisirter Körper die Formel $\frac{mm'}{d^2}$.

Dieser Ausdruck gilt auch für die gegenseitige Abstossung negativ elektrisirter Körper, wenn m und m' die Mengen des auf diesen Körpern angehäuften E bezeichnen; und nicht minder gilt er für die scheinbare Abstossung zweier positiv elektrisirter Körper, falls m und

m' die Grössen des Mangels an E in beiden Körpern, oder die diesen Grössen entsprechenden Elektricitätsmengen bedeuten, mit welchen die jene Körper umgebende Materie dem Gesetze der elektrischen Vertheilung gemäss sich ladet.

34. Wenn die Dichtigkeit des E auf der Oberfläche eines Körpers eine gewisse Grenze überschreitet, so erreicht die Repulsion zwischen den Elementen des E einen so hohen Grad, dass dieselben nicht mehr auf der Oberfläche bleiben können. Befindet sich ein Leiter in der Nähe, so wird in diesem eine Vertheilung der Elektricität bewirkt, und die Elemente des auf jenem Körper angehäuften E suchen in denselben einzudringen. Je ausgedehnter die Oberfläche dieses Leiters, desto grösser ist seine Capacität für das Elektricum und desto vollständiger wird dann auch die Entladung des Körpers sein, in welchem die Elektricität angehäuft ist. Auch ist zu erwarten, dass bei diesem Vorgange Massentheilchen des mit E beladenen Körpers mit fortgerissen werden. Doch muss auch schon bei gewöhnlicher Anhäufung des E ein Verlust stattfinden, vermöge dessen sich der elektrische Körper fortwährend mit seiner Umgebung in's elektrische Gleichgewicht setzt, indem er allmähig sein überschüssiges E verliert. Denn die Elektricität wird durch die Repulsion zwischen ihren Elementen bekanntlich nach der Oberfläche getrieben, von wo aus sie, weil die Repulsion auch hier noch, und zwar in verstärktem Grade wirksam ist, jenen Druck ausübt, welcher sich durch die umgebende Materie fortpflanzt. Dieser Druck ist aber unmittelbar mit dem Streben des E, sich von der Oberfläche des Körpers zu entfernen, verbunden, und nur die Rückwirkung der elektrischen Sphären der Umgebung verhindert, dass sich das E merklich von der Oberfläche des Körpers entfernt. Bei stärkerer Anhäufung wird nun der Widerstand, welcher aus dieser Rückwirkung entspringt, überwunden; das E entweicht und erscheint, wenn ein Leiter hinreichend nahe ist, in der Form des elektrischen Funkens. Während aber hier das elektrische Gleichgewicht sich mehr mit einem Male herstellt, findet bei einer geringeren Ladung des Körpers mit E kraft jenes Druckes ein allmähiges Entweichen desselben und damit ein eben so allmähiges Zurückkehren in den gewöhnlichen Zustand statt. Da sich das E an Hervorragungen und Spitzen vorzugsweise ansammelt, so wird auch an diesen der Verlust am grössten sein.

Auch der am besten isolirte Leiter erfährt stets einen gewissen

Verlust, theils in der eben angeführten Weise durch die Luft, theils durch die isolirenden Träger, indem er in diesen eine Vertheilung bewirkt, kraft deren ihr eigenes E zum Theil in den Boden getrieben wird. Dabei gibt der Leiter einen bestimmten Theil seines E an den Träger ab, um den Verlust, welchen dieser erlitten hat, zu ersetzen. Der Verlust durch die isolirenden Träger ist aber bekanntlich dann von Bedeutung, wenn sie mit einer Feuchtigkeitsschicht bedeckt sind. Ist nun der elektrisirte Leiter selbst mit einer Feuchtigkeitsschicht überzogen, so theilt sich das E des ersteren der letzteren (als einem im Vergleich zur Luft besseren Leiter) theilweise mit, und wenn die Flüssigkeitsschicht sich vergrößert oder erneuert, so wird damit auch der elektrische Verlust sich vergrößern oder erneuern.

Wenn ein Leiter positiv elektrisirt ist, so dehnen sich die elektrischen Sphären der Umgebung und auch die der isolirenden Träger zu ihm hin, um in denselben einzudringen; und das Eindringen geschieht wirklich, sobald der positiv elektrische Zustand (d. h. der Mangel an E) eine gewisse Grenze erreicht hat.

Aus unseren früheren Betrachtungen erhellt zur Genüge, dass die Form des Leiters, auf dem die Elektricität angehäuft ist, für das Entweichen der letzteren nicht gleichgültig sein kann. Die Wirkung der Spitzen ist bekannt. Befindet sich eine solche auf der Oberfläche eines Leiters, so erlangt an ihr die Elektricität eine solche Spannung, dass sie mit einer gewissen Leichtigkeit in die Luft entweicht. Die Lufttheilchen in der Nähe der Spitze werden dann gleichnamig elektrisirt, so dass sie von der Spitze und unter einander eine Zurückstossung erleiden, wodurch eine mehr oder weniger heftige Luftströmung bewirkt wird, die sich erkennen lässt, wenn man die Hand oder die Flamme einer Kerze nahe bringt. Wenn man an dem Conductor einer Elektrisirmaschine ein an den Enden nach entgegengesetzten Richtungen umgebogenes und zugespitztes Metallstäbchen so befestigt, dass es im Gleichgewichte befindlich, aber im horizontalen Sinne auf einer Spitze leicht drehbar ist (elektrisches Flugrädchen), so wird es während der Thätigkeit der Maschine bekanntlich in lebhafte Rotation versetzt. Es geschieht dies durch das Ein- oder Ausströmen des elektrischen Fluidums, je nachdem der Conductor positiv oder negativ elektrisch ist, oder vielmehr in Folge der hierdurch bewirkten Luftströme, welche auf die beiden umgebogenen Enden in entgegengesetztem Sinne wirken.

Ist auf einem isolirten Leiter, der z. B. positiv elektrisch ist, eine Spitze befestigt, und bringt man dieser gegenüber einen gewöhnlichen Leiter in die Nähe, so wird das E des letzteren, während die der Spitze benachbarten Lufttheilchen ihr eigenes E an dieselbe theilweise abgeben, sich an den der Spitze gerade gegenüberliegenden Punkten ansammeln und hier (d. h. nach der Seite des schwächeren elektrischen Druckes hin) den zunächst gelegenen Lufttheilchen mittheilen. Der Leiter wird also in Folge dieses vertheilenden Einflusses mit der Spitze gleichnamig elektrisirt. Wäre die letztere negativ elektrisch, so würde das E des Leiters nach der entgegengesetzten Seite zurückgedrängt werden, und während sie selbst das an ihr verdichtete E der berührenden Luft abgibt, empfangen die der Spitze gegenüberliegenden Punkte des Leiters Electricum von den nahe befindlichen Lufttheilchen, welche in der Richtung des von der Spitze herkommenden stärkeren elektrischen Druckes liegen.

35. Wenn in der Nähe eines stark elektrisirten Körpers sich verschiedenartige Körper befinden, so wissen wir, dass in ihnen allen, nach dem Gesetze der elektrischen Vertheilung, der natürliche Zustand gestört wird. Die guten Leiter werden unter sonst gleichen Umständen die stärkste Einwirkung erfahren, da das Electricum in ihnen freiere Beweglichkeit besitzt. Ist nun jener Körper beispielsweise stark negativ elektrisirt, so wird der von ihm ausgehende elektrische Druck das den anderen Körpern eigenthümliche E nach den entgegengesetzten Seiten hin zurückdrängen, und zwar um so leichter und stärker, je grösser die Freiheit ist, womit das Electricum in diesen Körpern sich bewegen kann, oder mit anderen Worten, je grösser ihre Leitungsfähigkeit ist. Durch dieses Zurückdrängen des E in den umgebenden Körpern entsteht aber für das auf der Oberfläche jenes Körpers angehäuften E freier Raum, den es einzunehmen sucht und unter gewissen Umständen auch wirklich einnimmt. Sein Druck wirkt zwar auf alle Körper in seiner Umgebung, aber doch vorzugsweise auf denjenigen, welchem unter sonst gleichen Umständen die grösste Leitungsfähigkeit zukommt. Auf diesen wird es nun auch in Gestalt eines Funkens übergehen, zumal wenn derselbe mit der Erde in leitender Verbindung steht, so dass sein zurückgedrängtes E in dieselbe entweichen kann. Hat aber der Körper auf diese Weise sein freies E verloren, so muss das in den andern Körpern zurück-

gedrängte und an den entgegengesetzten Seiten angehäuften E wieder in ihnen hervortreten und in den gewöhnlichen Gleichgewichtszustand zurückkehren. Dies wird natürlich um so gewaltsamer geschehen, je grösser die Menge der zurückgedrängten Elektricität war, und wird auf die Theilchen des Leiters eine ähnliche Wirkung hervorbringen wie der direkte elektrische Schlag.

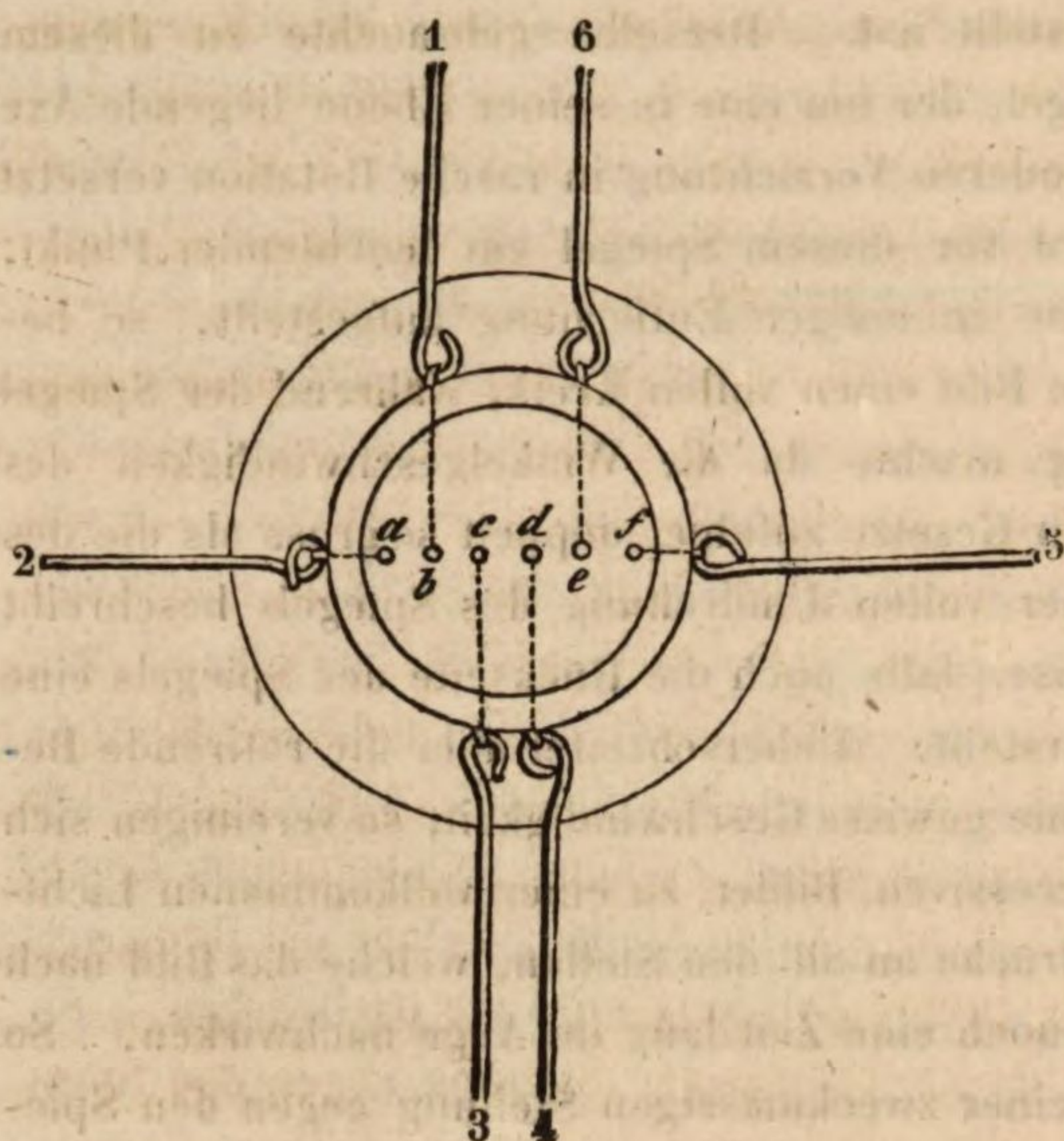
Der sogenannte R ü c k s c h l a g ist nun eben nichts anderes als die R ü c k k e h r der in Folge einer starken Vertheilung, an der einen Seite eines Leiters angehäuften Elektricität in den natürlichen Gleichgewichtszustand. Derselbe macht sich besonders bemerklich, wenn thierische Organismen, z. B. ein Frosch, in der Nähe eines stark elektrisirten Leiters, wie des Conductors einer Elektrisirmaschine, sich befinden. Sobald dieser nach einer bestimmten Richtung sich entladet, indem er seine Elektricität einem anderen Leiter mittheilt, werden die Elemente des im Thiere zurückgetriebenen E in ihre frühere Gleichgewichtslage zurückkehren mit einer Stärke oder Intensität, welche der stattgehabten Einwirkung des elektrisirten Conductors entspricht, und dabei eine Muszelsuckung bewirken.

Ist ein isolirter Leiter stark p o s i t i v elektrisirt, so werden sich die elektrischen Sphären der umgebenden Körper zu ihm hindehnen, um in den dargebotenen freien Raum einzudringen. Das eigene E dieser Körper wird sich also an den dem positiv elektrisirten Körper zugekehrten Seiten anhäufen, während der an den abgekehrten Seiten entstehende Verlust durch Zuleitung aus dem Boden ersetzt wird, falls mit diesem die Körper leitend verbunden sind. Uebrigens kommen hier dieselben Umstände in Betracht, wie im vorigen Falle. Giebt nun einer dieser Körper sein E an den positiv elektrisirten Körper ab, wodurch dieser seinen natürlichen Zustand mehr oder weniger annimmt, so müssen auch die Elemente des in den übrigen Körpern vorgedrängten E wieder in die gewöhnliche Gleichgewichtslage zurücktreten, und gerade so wie im vorigen Falle, die Erscheinung des sogenannten Rückschlages darbieten.

36. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Elektricität oder vielmehr die Störung des elektrischen Gleichgewichts sich in einem Leiter fortpflanzt, ist ohne Zweifel ausnehmend gross, obgleich die numerischen Angaben darüber beträchtlich von einander abweichen. Von besonderem Interesse erscheinen hier die Versuche, welche W h e a t s t o n e über diesen Gegenstand und über die Dauer des elek-

trischen Lichtes angestellt hat. Derselbe gebrauchte zu diesem Behufe einen Planspiegel, der um eine in seiner Ebene liegende Axe mittelst einer besonderen Vorrichtung in rasche Rotation versetzt werden konnte. Wird vor diesem Spiegel ein leuchtender Punkt, z. B. eine Lichtflamme in einiger Entfernung aufgestellt, so beschreibt das reflectirte Bild einen vollen Kreis, während der Spiegel eine halbe Umdrehung macht, da die Winkelgeschwindigkeit des Bildes, einem optischen Gesetze zufolge, doppelt so gross als die des Spiegels ist. Bei einer vollen Umdrehung des Spiegels beschreibt also das Bild zwei Kreise, falls auch die Rückseite des Spiegels eine reflectirende Fläche darstellt. Ueberschreitet aber die rotirende Bewegung des Spiegels eine gewisse Geschwindigkeit, so vereinigen sich die Eindrücke der successiven Bilder zu einer vollkommenen Lichtlinie, indem diese Eindrücke an all' den Stellen, welche das Bild nach und nach durchläuft, noch eine Zeit lang im Auge nachwirken. So gewahrt das Auge bei einer zweckmässigen Stellung gegen den Spiegel einen Lichtstreifen, der ein Bogen des beschriebenen Kreises und um so grösser ist, je näher das Auge dem Spiegel steht. Auch das Bild des elektrischen Funkens muss, wenn dieser eine gewisse Zeitdauer besitzt, in die Länge gezogen erscheinen, und zwar um so mehr, je grösser seine Zeitdauer und je schneller die Rotation des Spiegels ist, so dass sich aus diesen beiden Grössen die Länge des Lichtbogens und umgekehrt aus dieser Länge die Zeitdauer des Funkens berechnen lässt.

Wheatstone liess nun die Entladung einer Leidner Flasche durch einen langen Kupferdraht geschehen, welcher an drei Stellen unterbrochen war. Auf diese Weise boten sich dem rotirenden Spiegel drei Funken dar. Auf einem Brette (s. umstehende Figur), das drei und einen halben Zoll im Durchmesser hielt, waren sechs Kugeln wohl isolirt in derselben Horizontallinie befestigt. Der Abstand zwischen den Kugeln a und b, zwischen c und d, und zwischen e und f betrug einen Zehntelzoll, und dies war auch die Schlagweite für jeden Funken. Die Kugel b stand mit der einen, die Kugel e mit der anderen Belegung einer Leidner Flasche durch die Drähte 1 und 6 in Verbindung. Ausserdem war zwischen den Kugeln a und c eine leitende Verbindung hergestellt durch einen Kupferdraht, der 0,2 Zoll dick und $\frac{1}{4}$ englische Meile lang war, und durch einen eben so langen Kupferdraht waren die Kugeln d und f miteinander

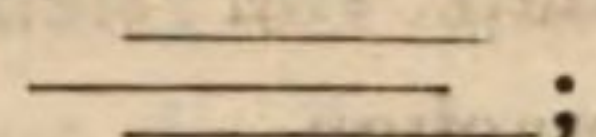
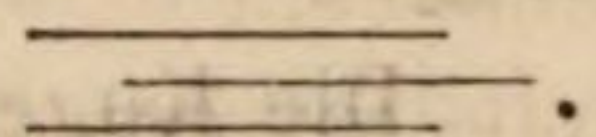


verbunden. Der Versuch wurde in einer Gallerie angestellt. Der Draht aber, durch welchen man auf die eben angegebene Weise eine Gemeinschaft zwischen den beiden Belegungen der Leidner Flasche herstellt, und der also eine Gesamtlänge von $\frac{1}{2}$ engl. Meile hatte, war vermittelst seidner Schnüre isolirt.

Der Apparat mit dem rotirenden Spiegel befand sich 10 Fuss vom Funkenbrette, und zwar in gleicher Höhe mit diesem. Die Rotationsaxe war horizontal und den sechs Kugeln parallel, und konnte durch eine Scheibe mit Schnur und durch Verbindung mit einem Räderwerke in eine rasche Umdrehung versetzt werden, so dass sich der Spiegel während einer Secunde 800mal umdrehte. Die Zahl der Umdrehungen wurde dadurch bestimmt, dass der Spiegel bei jeder Umdrehung gegen einen Streifen Papier schlagen musste, wodurch ein Ton entstand, dessen Höhe eben die Umdrehungszahl mittelbar anzeigte.

Wenn nun eine Leidner Flasche durch das obige leitende System entladen wird, so erscheinen die drei Funken dem Auge vollkommen gleichzeitig. Ist dann die Vorderseite des Spiegels im Niveau mit dem Funkenbrette und demselben zugewandt, und macht er überdies einen Winkel von 45° mit dem Horizont, so erblickt das Auge, bei senkrechtem Hinuntersehen, die reflektirten Bilder der drei Funken. Wird aber der Spiegel in Rotation versetzt, und übersteigt seine Geschwindigkeit eine gewisse Grenze, so erscheinen die drei Funken zu drei parallelen Linien verlängert, und diese Verlängerung wird beträchtlicher, so wie die Geschwindigkeit der Bewegung sich vergrößert. Wenn der Spiegel sich 800 mal in 1 Secunde umdreht, so würde die

Verlängerung des Funkens zu $\frac{1}{2}$ Grad andeuten, dass der Funke einen Bestand von $\frac{1}{1152000}$ Secunde hatte. In diesem Falle legt nämlich der Spiegel $\frac{1}{2}$ Grad in $\frac{1}{2 \cdot 360 \cdot 800}$ und das Bild also denselben Weg in $\frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 360 \cdot 800} = \frac{1}{1152000}$ Secunde zurück. Eine Verlängerung des Funkens von $\frac{1}{2}$ Grad entspricht aber einer Grösse, die in 10 Fuss Entfernung gesehen einem Zoll gleicht.

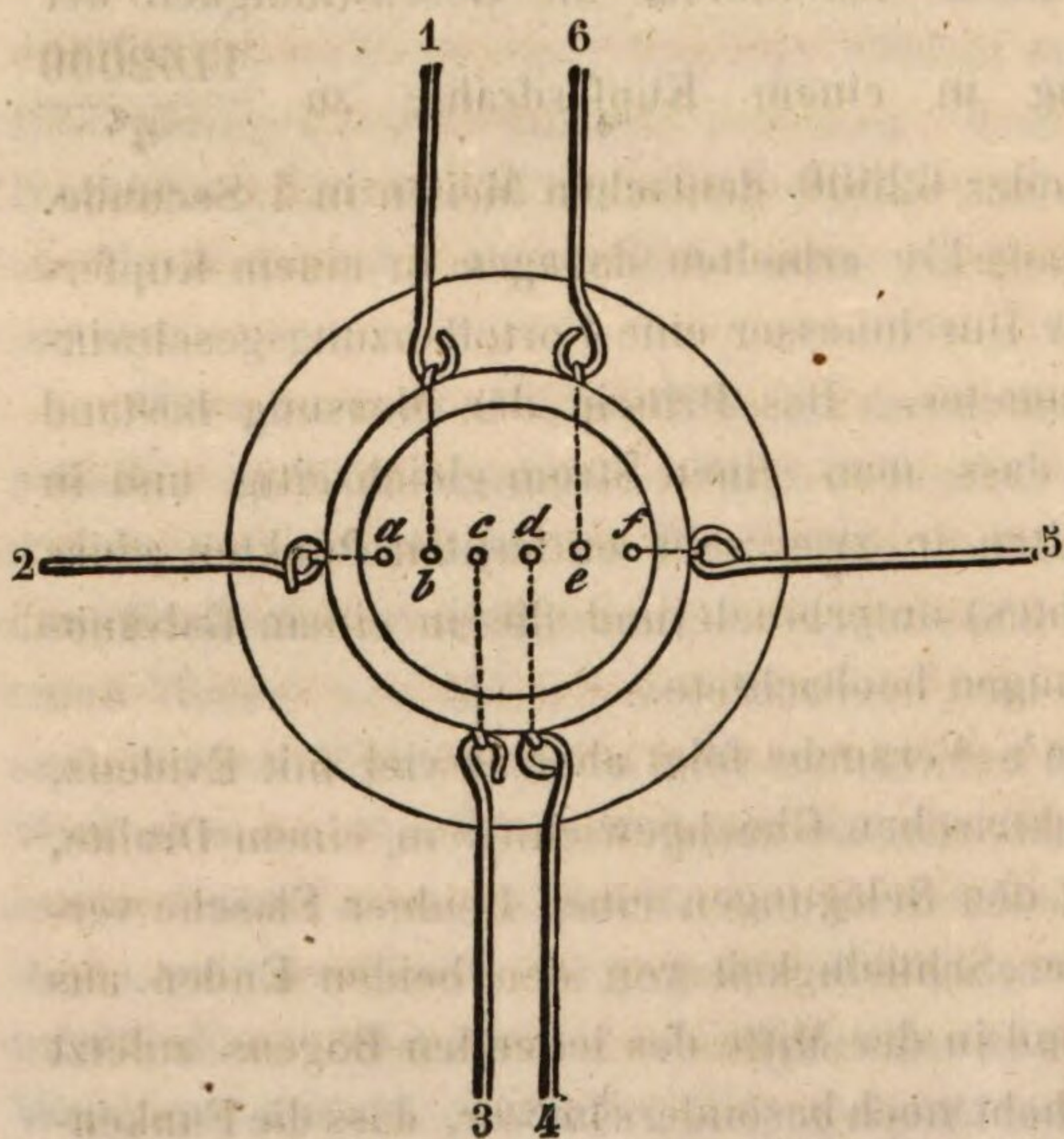
Bei hinlänglich grosser Rotationsgeschwindigkeit des Spiegels erschienen indessen nicht allein alle drei Funken in die Länge gezogen, sondern es zeigte sich auch noch der mittlere gegen die beiden äusseren etwas verrückt. Wenn sich nämlich der Spiegel gegen die Rechte drehte, so hatten die drei Linien dieses Ansehen: ; drehte er sich gegen die Linke, so erschienen sie so: . In beiden Fällen war also der mittlere Funke gegen die äusseren im Sinne der Rotation des Spiegels verschoben. Die Ablenkung zwischen dem mittleren Funken und den beiden äusseren betrug nun etwa $\frac{1}{2}$ Gr., woraus denn folgt, dass der mittlere Funke ungefähr um $\frac{1}{1152000}$ später erschien als die beiden äusseren. Da aber während dieser Zeit der elektrische Einfluss sich durch einen Kupferdraht von $\frac{1}{4}$ englischer Meile erstreckt hatte, so bestimmte sich hieraus die Geschwindigkeit der elektrischen Ausbreitung in einem Kupferdrahte zu $\frac{1152000}{4} = 288000$ englischen oder 62500 deutschen Meilen in 1 Secunde.

Fizeau und Gounelle erhielten dagegen in einem Kupferdrahte von 2,5 Millimeter Durchmesser eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 180000 Kilometer. Das Princip der Messung bestand im Allgemeinen darin, dass man einen Strom gleichzeitig und in sehr kleinen Zwischenzeiten in zwei sehr entfernten Punkten eines Leiters (Telegraphendrahtes) unterbrach und die in einem Galvanometer erzeugten Ablenkungen beobachtete.

Aus Wheatstone's Versuche folgt aber so viel mit Evidenz, dass die Störung des elektrischen Gleichgewichtes in einem Drahte, der an seinen Enden mit den Belegungen einer Leidner Flasche verbunden ist, mit gleicher Schnelligkeit von den beiden Enden aus zugleich fortschreitet, und in der Mitte des leitenden Bogens zuletzt eintrifft. Wheatstone hebt noch besonders hervor, dass die Funken-

linienniemals so: oder so: erschienen wären, wie es doch die Ansicht von einem einzigen Fluidum erfordern würde. Dieser Einwurf trifft aber nur dann, wenn man annimmt, dass das elektrische Fluidum hier ohne Weiteres von der einen Belegung der Flasche zur andern durch den Draht überströmt. Wir haben aber bereits oben (Seite 47), bei unsern Betrachtungen über die Entladungserscheinungen der Leidner Flasche, eingesehen, dass die Störung des elektrischen Gleichgewichts von den beiden Belegungen aus gleichzeitig in den mit ihnen verbundenen Drähten fortschreitet, so dass die Ausgleichung des elektrischen Gegensatzes an den freien Drahtenden zuletzt stattfindet. Sollen jedoch die hier vorliegenden Verhältnisse gehörig beurtheilt werden, so muss man von dem Gesetze der elektrischen Vertheilung Anwendung machen.

Die Kugel b des Funkenbrettes stehe in Verbindung mit der negativen Belegung, die Kugel e mit der positiven Belegung der Leidner Flasche. Nun findet unter Voraussetzung eines einzigen elektrischen Fluidums auf jener Belegung eine Anhäufung des E, auf dieser dagegen ein Mangel an E statt. Die Kugel b ist negativ, die Kugel e positiv elektrisch. War aber beispielsweise die zur Kugel b gehörige Belegung mit der Elektrizitätsquelle (während der Ladung der Flasche)



in Berührung, so wird das auf b angehäuften E vertheilend auf die nahe liegende Kugel a wirken, indem es das derselben inwohnende E in den Draht treibt, der diese Kugel mit c verbindet. In demselben Moment wendet sich aber auch die der Kugel f eigenthümliche Elektrizität nach der positiv elektrischen

Kugel e hin, um auf diese und dann auf die positive Belegung überzugehen, während das Elektricum auf b in a einzudringen sucht. Der vertheilende Einfluss, welcher von b und e ausgeht, und sich selbstverständlich zunächst auf die Kugeln a und f erstreckt, muss sich von diesen Kugeln aus weiter durch die Drähte fortpflanzen, von denen der eine a mit c, der andere d mit f verbindet. Das Elektricum des ersten Drahtes erleidet eine Verschiebung von a nach c, und dasjenige des zweiten eine solche von d nach der Kugel f hin. Es ist klar, dass bei diesem Vorgange die Natur des Drahtes von Bedeutung ist. Die Kugeln c und d aber gerathen in Folge des vertheilenden Einflusses in entgegengesetzt elektrische Zustände, und zwar wird c negativ, d positiv elektrisch. Diese Zustände können das Maximum ihrer Intensität freilich erst nach Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände erreichen, mit denen die Kugeln a und b, sowie e und f behaftet sind. In demselben Augenblicke aber, in welchem das E der negativen Belegung von b nach a übergeht, schlägt auch eine Funke von f nach e oder nach der positiven Belegung über, so dass die beiden äusseren Funken vollkommen gleichzeitig erscheinen. Dann also, wenn der Draht zwischen den Kugeln a und c etwas E von der negativen Belegung der Flasche empfangen, und der Draht zwischen d und f etwas von seinem eigenen E an die positive Belegung abgegeben hat, erreicht das in Folge jener Vertheilung auf c schon angesammelte E eine solche Spannung, dass es nach der positiv elektrischen Kugel d übergehen kann. Das Erscheinen des mittleren Funkens bezeichnet nun den Moment, in welchem das in dem Drahte gestörte elektrische Gleichgewicht sich wieder herstellt.

37. Die obige Bezeichnung der entgegengesetzt elektrischen Zustände durch $+$ und $-$ ist zwar gebräuchlich, aber ganz willkürlich, so dass man sie füglich umkehren könnte. Auch ist es für die Erklärung einer grossen Anzahl von elektrischen Erscheinungen gleichgültig, welchen der beiden factisch vorhandenen Zustände man als denjenigen ansieht, worin ein Körper mehr E als im gewöhnlichen Zustande enthält. Gleichwohl ist diese Kenntniss in anderer Beziehung, namentlich wenn man sich für die Annahme eines einzigen elektrischen Fluidums entscheidet, von grossem Interesse. Ist dieses Fluidum nach bestimmten quantitativen Verhältnissen in allen Körpern verbreitet, so unterliegt es keinem Zweifel, dass verschie-

denartige Körper, mag die Ungleichartigkeit zwischen ihnen noch so gering sein, durch Reiben in entgegengesetzt elektrische Zustände gerathen müssen. Das Gegentheil würde befremdend sein. Schon die verschiedene chemische Natur muss hier Unterschiede bewirken, vermöge deren das Elektricum veranlasst wird, sich mehr in dem einen oder anderen anzuhäufen. Nicht minder wichtig ist hierbei die verschiedene Anordnung hinsichtlich der Lage der Molecüle, die grössere oder geringere Dichtigkeit der Körper, was einleuchtet, wenn man sich daran erinnert, dass die Elemente des E die Massentheilchen der Körper sphärenartig einzuhüllen streben. Selbst die Beschaffenheit der Oberfläche kann nicht ohne Einfluss sein, weil hierdurch die Fähigkeit des Körpers, noch mehr E aufzunehmen oder zu entlassen, vergrössert oder verringert wird. Und vermöge solcher Unterschiede können selbst Körper von sonst gleicher Beschaffenheit entgegengesetzt elektrisch werden. In der Reibung selbst liegt schon ein Grund für die Störung des elektrischen Gleichgewichts, in so fern die Bewegung, in welche dadurch die Körpertheilchen versetzt werden, sich auf die Elemente des Elektricums überträgt. Auch werden wohl die Theilchen verschiedenartiger Körper beim Reiben nicht auf gleiche Weise afficirt werden, was denn auch von den mit ihnen verbundenen Elementen des E gilt. Versuchen zufolge nimmt nun der härtere Körper meist denjenigen elektrischen Zustand an, welchen man den positiven nennt. Bei zwei sonst gleich beschaffenen Körpern, deren Temperatur aber ungleich ist, wird bei gegenseitiger Reibung der kältere gewöhnlich positiv, der wärmere negativ elektrisch. Hierauf führt man es zurück, dass zwei Stücke desselben Seidenbandes, wenn man sie kreuzweise aneinander reibt, und zwar so, dass das eine festgehalten, das andere bewegt ist, in entgegengesetzt elektrische Zustände gerathen. Das erstere nämlich, welches ruht, erwärmt sich an der geriebenen Stelle stärker als das andere, das in seiner ganzen Länge hin und her bewegt wird. Jenes wird negativ, dieses positiv elektrisch. Wenn man ferner zwei übrigens gleichartige Körper, von denen der eine eine glatte, der andere eine rauhe Oberfläche hat, aneinander reibt, so erhält der glatte positive, der rauhe negative Elektricität. Und Versuche von Coulomb führten zu dem Resultate, dass die beim Reiben sich am meisten ausdehnenden Körper negativ elektrisch werden.

Je grösser die Capacität eines Körpers für das Elektricum ist, desto mehr wird er während des Reibens von dem anderen Körper aufnehmen und deshalb in der That mit E angefüllt werden. Nun ist aber zu erwarten, dass bei der Reibung zweier Körper das Elektricum in den rauheren oder wärmeren übergeht, da es wahrscheinlich ist, dass solche Körper am geschicktesten sind, neues E um die Theilchen ihrer Oberfläche aufzunehmen. Dies vorausgesetzt hätten wir die obige willkürliche Bezeichnung durch $+$ und $-$ in der Art zu deuten, dass der sogenannte positive Zustand einen Mangel, dagegen der sogenannte negative einen Ueberfluss an E bezeichnet. Der härtere, glattere, kältere Körper würde dann nach dem Reiben wirklich weniger E als im gewöhnlichen Zustande enthalten.

Die Störung des elektrischen Gleichgewichts, welche durch das Reiben zweier Körper hervorgebracht wird, kann nun eine gewisse Grenze nicht überschreiten, und diese ist erreicht, sobald das auf dem einen Körper angehäuften E eine solche Spannung erlangt hat, dass dieselbe den Kräften, durch welche es aus dem anderen Körper herausgetrieben wird, das Gleichgewicht zu halten vermag.

Zu den mechanischen Erregungsmitteln der Elektrizität gehören auch noch Druck, Stoss und die Trennung der Theilchen eines und desselben Körpers. Fast alle Körper, selbst eingedickte Flüssigkeiten, werden nach Becquerel's Versuchen durch Druck elektrisch. Die Menge der hierbei entwickelten Elektrizität wird sowohl durch die Stärke des Druckes als auch durch die Natur, Leitfähigkeit, Temperatur und Beschaffenheit der Oberfläche der zusammengedrückten Körper bestimmt, wie dies zu erwarten ist. Veränderungen in der Beschaffenheit der Oberfläche haben meist eine Veränderung der Leitfähigkeit zur Folge. Bei demselben Körper ist aber die Elektrizitätserregung der Stärke des Druckes proportional, falls dieser eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Man sieht nun ein, dass die Sphären des Elektriums nicht in Ruhe verharren können, sobald die Molecüle, um welche sich dieselben gebildet haben, durch den Druck in ihrer gegenseitigen Lage gestört werden. Drückt man eine Metallscheibe mittelst eines isolirenden Handgriffes an Wachstafel, so kann dasjenige E, welches im Taffet enthalten ist, in Folge des ausgeübten Druckes nicht mehr ruhig darin verweilen, sondern es wird vermöge der Repulsion zwischen seinen Elementen in die Metallscheibe fliehen, die sich zunächst darbietet, vom Drucke am wenigsten leidet, und

wegen ihrer Leitungsfähigkeit am geschicktesten ist, neues E aufzunehmen. Um aber bei guten Leitern die auf diese Weise erregte Elektricität nachzuweisen, kommt es bekanntlich auf eine schnelle Trennung derselben an, weil sonst die entgegengesetzt elektrischen Zustände sich bald wieder ausgleichen. Selbst Theile eines und desselben Körpers, z. B. zwei Korkscheiben, die man durch Zerschneiden Eines Stückes erhält, werden durch Druck entgegengesetzt elektrisch, wenn man die eine vorher erwärmt. Die letztere wird dann negativ elektrisch. Bei gleicher Temperatur wird aber diejenige negativ, deren Oberfläche am rauhesten ist. In diesen Fällen kann das Verhalten beider Korkscheiben zum Elektricum nicht mehr dasselbe sein, so dass das letztere bei der gegebenen Veranlassung aus der einen Scheibe in die andere (wärmere oder rauhere) theilweise übergehen muss. Indessen werden die Molecüle der Materie und damit auch die Elemente des E durch blossen Druck wohl nicht ganz auf dieselbe Weise wie beim Reiben in Bewegung gesetzt. So soll auch nach Libes ein isolirtes Stück Metall, das durch einen Druck an Wachstaffet, wie oben erörtert, negativ elektrisch wird, durch Reiben an demselben positiv elektrisch werden.

Beim heftigen Zusammenstoss zweier Körper, wo die elektrischen Sphären ihrer Theilchen gewissermassen eine Compression erleiden, ist ebenfalls ein theilweises Freiwerden des E in denselben zu erwarten. Böttcher hatte ein Mittel angegeben, um zu entscheiden, ob das beim Aneinanderschlagen zweier Feuersteine und auch noch in anderen Fällen entstehende Licht elektrischer Natur ist oder nicht. Doppler zeigte jedoch, dass dieses Mittel trüglich sei, da dasselbe auch bei Lichtquellen, die bekanntermassen nicht elektrischer Art sind, zu demselben Resultate führe. Wenn die Cohäsion eines Körpers gewaltsam aufgehoben wird, so können sich die elektrischen Sphären (um die Massentheilchen dieses Körpers) gewiss nicht ganz ruhig verhalten, vielmehr ist zu erwarten, dass das Elektricum hierbei zum Theil frei wird, und die geringsten Verschiedenheiten müssen dann entgegengesetzt elektrische Zustände veranlassen. Die Elektricitätsentwicklung durch mechanische Trennung gewahrt man bekanntlich vorzugsweise beim Spalten blättriger und überhaupt von krystallisirten Mineralien, namentlich wenn sie von ihrem Krystallwasser befreit und schlechte Leiter sind, beim Zerschlagen und Zerspalten fester Körper, wobei man auch oft einen phosphorescirenden

Schein bemerkt. Wenn man z. B. bei einem Glimmerblatte die Spaltung nur an dem einen Ende vornimmt, so kann man die entstandenen Blättchen mittelst daran befestigter isolirender Handgriffe schnell auseinanderreißen. Nach der Trennung ist dann das eine positiv, das andere negativ elektrisch. Dasselbe zeigen auch noch andere Mineralien, wenn die Trennung nach einem bestimmten Blätterdurchgange geschieht.

38. Um durch das Reiben grössere Mengen von Elektricität zu gewinnen, gebraucht man die bekannten Elektrisirmaschinen. Das Elektricum, welches hier im Glaskörper vorhanden ist, kann darin während des Reibens wohl nicht ruhig verweilen, sondern es wird in's leitende Amalgam, das mit dem Glase in unmittelbarer Berührung ist, und von da in den Boden entweichen, wenn dieser mit dem Reibzeuge in leitender Verbindung steht. Das Glas erleidet nämlich wegen der Aufregung seiner Theilchen durch's Reiben, indem sie gewissermassen in einen schwingenden Zustand gerathen, einen Verlust an E, oder es wird positiv elektrisch. Nun nähern sich die geriebenen Stellen des Glases einem isolirten Leiter (Conductor), welcher denselben von seinem eigenen E abgibt, da das letztere sich nach der Seite des schwächeren elektrischen Druckes, d. h. nach dem Glase hin wendet. Während dies geschieht, müssen sich die elektrischen Sphären der Luft, dem Gesetze der Vertheilung gemäss, nach dem Conductor hindrängen, ohne aber gerade die Lufttheilchen zu verlassen. Weil nun das E des isolirten Conductors sich den geriebenen, positiv elektrischen Stellen des Glases zuwendet und denselben den Verlust durch Mittheilung ersetzt, so wird der Conductor selbst positiv elektrisch, während das Reibzeug negativ elektrisch wird, in so fern es vom geriebenen Glase fortwährend E empfängt. Wenn dieses jedoch in den Boden übergeht, so verbleibt das Reibzeug allerdings in seinem gewöhnlichen elektrischen Zustande. Anstatt aber die ihm mitgetheilte Elektricität in den Boden überfliessen zu lassen, kann man sie bekanntlich auch auf einem grösseren Metallcylinder, der mit dem Reibzeuge in Verbindung steht und gleichfalls Conductor heisst, ansammeln. Dieser Conductor würde dann, falls er isolirt wäre, negativ elektrisch werden. — Denken wir uns den umgekehrten Fall, nehmen wir nämlich an, dass für das E des Reibzeuges die Nothwendigkeit vorhanden wäre, während des Reibens in das Glas überzugehen, so würde natürlich der zuletzt erwähnte Conductor

positiv, der andere in der Nähe des Glases befindliche dagegen negativ elektrisch werden.

Man erkennt, dass die Erscheinungen an der Elektrisirmaschine ähnlich wie die bisher dargelegten auf einem abgeänderten elektrischen Druckverhältnisse und der hierdurch bedingten Anordnung der elektrischen Elemente beruhen. Der elektrische Druck wird hier an einer bestimmten Stelle vermindert, so dass dann nach dieser letzteren die elektrischen Sphären der Umgebung von einer bestimmten Seite her hindrängen. Geht also das dem Glase eigenthümliche E während des Reibens zum Reibzeuge und von da in den Boden, so ist damit auch das elektrische Gleichgewicht des Conductors gestört, dessen E sich natürlicher Weise nach den Stellen des schwächeren elektrischen Druckes, nämlich nach dem Glase hinbegibt. So verliert der Conductor mehr oder weniger von dem ihm innewohnenden Elektricum, und jeder Körper, der in seine Nähe kommt, gibt ihm eben deshalb etwas von seinem eigenen E in der Gestalt des elektrischen Funkens ab.

Um den Grad der Ladung eines Conductors ungefähr zu beurtheilen, pflegt man bekanntlich das Hanly'sche Quadrantenelektrometer aufzuschrauben. Wenn man dann die Maschine dreht, so wird anfangs das Kügelchen des Elektrometers lebhaft abweichen; es steigt rasch, bleibt aber bald an einem bestimmten Punkte des getheilten Halbkreises fest stehen, obgleich die Maschine sich in unausgesetzter Thätigkeit befindet. Die Spannung auf dem Conductor erreicht also eine bestimmte Grenze, welche trotz der steten Elektricitätsentwicklung nicht überschritten werden kann. Je mehr nämlich der Conductor von seinem E an das Glas entlässt, um so stärker drängen sich auch die elektrischen Sphären der Luft zu ihm hin. Bei fortgesetztem Drehen muss daher der elektrische Verlust des Conductors eine solche Grösse erreichen, dass die umschliessende Luft ihr Elektricum nicht mehr zurückhalten kann, sondern dasselbe zum Theil an den Conductor abtreten muss. Der positiv elektrische Zustand des letzteren kann alsdann keinen höheren Grad mehr erreichen; das Elektrometer zeigt nun stets auf denselben Punkt der Theilung hin, da der elektrische Verlust, welchen der Conductor in jedem Zeittheilchen nach dem Glase hin erleidet, gleich sein wird der Elektricitätsmenge, welche ihm in derselben Zeit von der Luft zugeführt wird. Das Elektrometer zeigt hier also gewissermassen die Grösse der Spannung an, mit welcher die elektrischen Sphären der

Luft nach dem Conductor hinstreben. — Der mit dem Reibzeug in Verbindung stehende Conductor wird, wenn die Maschine in Thätigkeit ist, negativ elektrisch, in so fern die am Glase entwickelte Elektrizität auf ihn übergeht. Das Glas erhält dann Ersatz durch den anderen Conductor, dem die geriebenen Stellen des Glases nahe kommen, und dieser muss mit dem Boden in leitender Verbindung stehen, wenn die Elektrizität des Reibzeuges im Maximo der Spannung hervortreten soll. Die Grenze der Ladung ist hier erreicht, sobald das auf jenem Conductor angehäuften E eine solche Spannung erlangt hat, dass der elektrische Verlust an die Umgebung in jedem Zeittheilchen gleich ist der Elektrizitätsmenge, welche in derselben Zeit diesem Conductor zugeführt wird.

39. Wenn also ein Leiter in die Nähe des positiv elektrisirten Conductors gebracht wird, so muss er diesem sein E theilweise abgeben, falls dem letzteren wirklich das ihm eigenthümliche E durch die Thätigkeit der Maschine mehr oder weniger entzogen worden ist. Befestigt man nun auf dem Conductor der Maschine eine metallene Spitze, so strömt in diese das Elektricum der umgebenden Luft in Gestalt eines leuchtenden Feuerbüschels ein, der im Dunkeln leicht wahrzunehmen ist. Nähert man aber dem Conductor eine Metallspitze, die dadurch, dass man sie in der Hand hält, auch mit dem Boden in leitender Verbindung steht; so zeigt sich an derselben ein viel kleinerer Lichtbüschel oder auch wohl nur ein leuchtender Stern, indem aus ihr das E hervorbricht, um nach dem positiv elektrischen Conductor überzugehen. In Wahrheit können wohl nur diejenigen Körper leuchten, welche das E wirklich aussenden, nicht aber die, welche es empfangen. An der auf dem Conductor befestigten Spitze erscheint deshalb ein Strahlenbüschel, weil die Lufttheilchen rings um die Spitze ihr Elektricum an diese abgeben; sie selbst, die Lufttheilchen, leuchten dann, nicht aber die Spitze, welche das E von jenen empfängt und an der es verschwindet. Eine dem Conductor entgegengehaltene Spitze dagegen entlässt ihr E in Gestalt eines leuchtenden Sterns; hier ist es nur ein Punkt oder doch nur eine geringe Anzahl von Punkten, welche Elektricum nach dem Conductor hin aussenden, dort aber sind es sämtliche Lufttheilchen in der Nähe der Spitze, welche dieses Elektricum abgeben, also viele leuchtende Punkte, die zusammen die Erscheinung eines Lichtbüschels verursachen.

Diese Lichterscheinungen gewähren gewissermassen ein unterscheidendes Merkmal der beiden entgegengesetzt elektrischen Zustände. Da das Phänomen namentlich an Metallspitzen deutlich hervortritt, so sagen wir laut des Vorhergehenden: die sogenannten *negativen* Spitzen, welche nur einen leuchtenden Stern oder einen kleinen Lichtbüschel zeigen, sind diejenigen, welche wirklich Elektricum aussenden; die sog. *positiven* Spitzen dagegen, welche einen längeren Lichtbüschel zeigen, empfangen das E von verschiedenen Seiten her, und sind an sich dunkel.

Unter dem elektrischen Funken versteht man bekanntlich diejenige momentane Lichterscheinung, welche bei der Ausgleichung entgegengesetzt elektrischer Zustände (zwischen zwei Leitern) vermittelst eines schlechter leitenden Mediums vorkommt, und die meist von einem eigenthümlichen Laute, einem Knistern, Knacken oder Knalle begleitet ist. *Wheatstone* zog nun aus seinen Versuchen über das Spectrum des elektrischen Funkens den Schluss, dass das elektrische Licht aus einer Verflüchtigung und Glühung, nicht aber Verbrennung der ponderabeln Theilchen des Leiters entstehe. Dass der elektrische Funken wirklich von materiellen Theilchen der Leiter, zwischen denen er überspringt, begleitet ist, haben Versuche von *Fusinieri* dargethan, und ebenso findet auch bei der galvanischen Elektricität ein Ueberführen von Theilchen statt, so namentlich wenn der Strom zwischen Kohlenspitzen übergeht, worauf wir späterhin wieder zurückkommen werden. Nach *Biot* und Anderen wird dagegen das elektrische Licht aus einem Erglühen der Lufttheilchen hergeleitet, welche beim Ueberspringen der Elektricität eine Compression erleiden sollen, wobei man sich auf die Erfahrung stützt, dass die Farbe des Lichtes in verschiedenen Gasen und Dämpfen verschieden, und dass der Glanz desselben in verdichteter Luft grösser als in verdünnter ist. Doch möchte bei einer geräuschlosen Entladung, wie sie wirklich vorkommt, eben nicht die Rede sein können von einer Compression und einem Erglühen der Lufttheilchen, vielmehr machen es verschiedene Wahrnehmungen, so unter anderen die von *Neef*, wahrscheinlich, dass das reine elektrische Licht etwas wärmefreies und mehr der Elektricität selbst angehöriges sei, das letztere aber wohl nur in so fern, als das elektrische Fluidum da, wo es hervorbricht, die Elemente des umgebenden Lichtäthers in eine schwingende Bewegung versetzt. Damit ist aber nicht geläugnet,

sondern sehr wohl verträglich, dass die Farbe des Lichtes sowohl von der Natur der Leiter, zwischen denen das Elektricum übergeht, als auch von der Beschaffenheit des schlechter leitenden Mediums abhängig ist.

In den längeren elektrischen Funken lassen sich häufig zwei ungleich gefärbte Theile unterscheiden. So erschien Pfaff bei längeren Funken, die zwischen dem positiven Conductor und einer gewöhnlichen Auffangkugel überschlagen, die gegen den positiven Conductor gekehrte Hälfte des Funkens mehr purpurfarben oder röthlich violet, die nach der Auffangkugel oder negativen Seite hingekehrte Hälfte mehr blau. Diese Funken erscheinen auch öfter gegen die Mitte hin schmaler und von mehr violetter Farbe, und mitunter auch ganz unterbrochen. Dieselbe Erscheinung zeigt sich unter sonst gleichen Umständen auch beim negativ elektrisirten Conductor des Reibzeuges, nur mit dem Unterschiede, dass dann die Funken kürzer sind. Hiernach hat es also den Anschein, als ob zwei Funken vorhanden wären, von denen der eine auf der negativen, der andere auf der positiven Seite zur Entwicklung gelange. Und dies scheint in der That stattfinden zu müssen, selbst dann, wenn man nur Ein elektrisches Fluidum annimmt. Es sei beispielsweise ein isolirter Leiter (Conductor) auf seiner Oberfläche mit E beladen, während in einer gewissen Entfernung ein zweiter nicht isolirter Leiter aufgestellt ist. Dann wird das auf der Oberfläche jenes Leiters angehäuften E, vermöge der Repulsion zwischen seinen Elementen, bekanntlich einen bestimmten Druck nach dem anderen Leiter hin ausüben; allein dieser Druck pflanzt sich nicht unmittelbar fort, sondern seine Thätigkeit ist zunächst gerichtet gegen dasjenige Elektricum, welches im Gleichgewicht mit sich selbst um die Molecüle der dazwischen befindlichen Lufttheilchen vorhanden ist. Die elektrischen Sphären der Luft werden in Folge des Druckes, der von dem ersten Leiter ausgeht, nach der entgegengesetzten Seite, d. h. nach dem zweiten Leiter hingedrängt, so dass dadurch die zwischen beiden Leitern liegende Luft eine elektrische Ladung empfängt. Und wenn nun die Entladung erfolgt, so bricht nicht allein aus dem ersten Leiter, sondern auch aus dem gasförmigen Medium ein Funke hervor. Steht aber die mit der Erde communicirende Kugel dem positiven Conductor einer Elektrisirmaschine gegenüber, so wird sich nach diesem das Elektricum der Luft und der Kugel hindrängen, und zwar

in der Masse, in welchem der Conductor seines eigenen E beraubt ist. Bei der Entladung entstehen dann wieder, wie vorher, zwei Funken.

Da also ein positiv elektrisirter Körper aus der Umgebung Electricum aufzunehmen, und ein negativ elektrisirter solches zu entlassen strebt, so haben wir in der Regel auf beiden Seiten, sowohl auf der positiven als auf der negativen, eine Lichterscheinung zu erwarten. Doch wird die auf der letztgenannten Seite auftretende Lichterscheinung, weil sie dem negativ elektrischen Körper selber eigenthümlich ist, mehr einen constanten Charakter zeigen als die andere, welche im Grunde dem umgebenden Medium zugehört und daher mit diesem sich mehr oder weniger verändern muss.

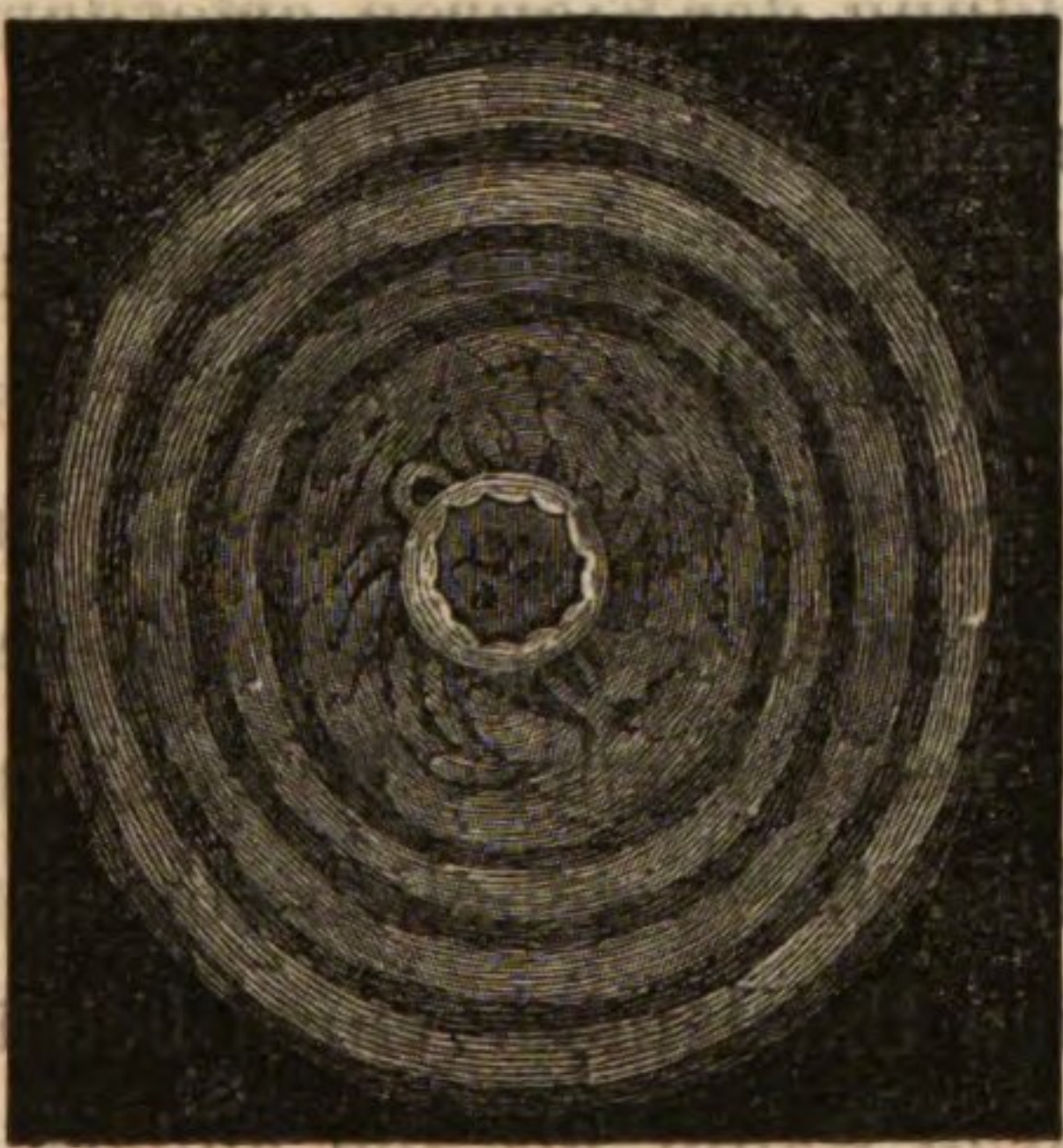
Wenn im luftverdünnten Raum Electricität zwischen zwei Metalldrähten übergeht, so erscheinen beide bei grösserer Entfernung und nicht zu starker Verdünnung der Luft mit dem sogenannten Glimmlichte bedeckt, während dieses in stark verdünnter Luft und bei geringerer Entfernung beider Drähte nur an dem negativen Drahte auftritt. Faraday sah auch bei einem gewissen Abstände der Drähte einen purpurfarbenen Streifen, der von dem positiven nach dem glimmenden negativen Drahte sich hinzog, von dem letzteren aber immer durch einen dunklen Raum getrennt war. Dieser Streifen gehört nun eigentlich der positiven Seite an, indem das Electricum der Luft auf einer gewissen Strecke von einem Theilchen zum anderen nach der eben genannten Seite übergeht. Dieser Uebergang des E von einem Lufttheilchen zum anderen ist hier (im luftverdünnten Raume) sichtbarer als in gewöhnlicher atmosphärischer Luft, wo die Theilchen gedrängter aneinander liegen.

Wenn aber der Uebergang der Electricität von einem negativen zu einem positiven Körper unmittelbar, d. h. ohne Vermittelung des umgebenden Mediums geschehen kann, so wird allerdings die Lichterscheinung nur da auftreten müssen, wo das Electricum wirklich hervorbricht, also hier an dem negativ elektrisirten Körper selbst. Dies scheint nun bei dem Lichtphänomen stattzufinden, das Neef an dem bekannten Inductionsapparate zuerst wahrnahm. Der letztere ist nämlich so eingerichtet, dass der elektrische Strom von einer Platinspitze zu einem Platinblättchen oder umgekehrt von diesem zu jener übergehen muss. Beide, Spitze und Blättchen, werden anfänglich miteinander in Berührung gebracht, und kommen auch wäh-

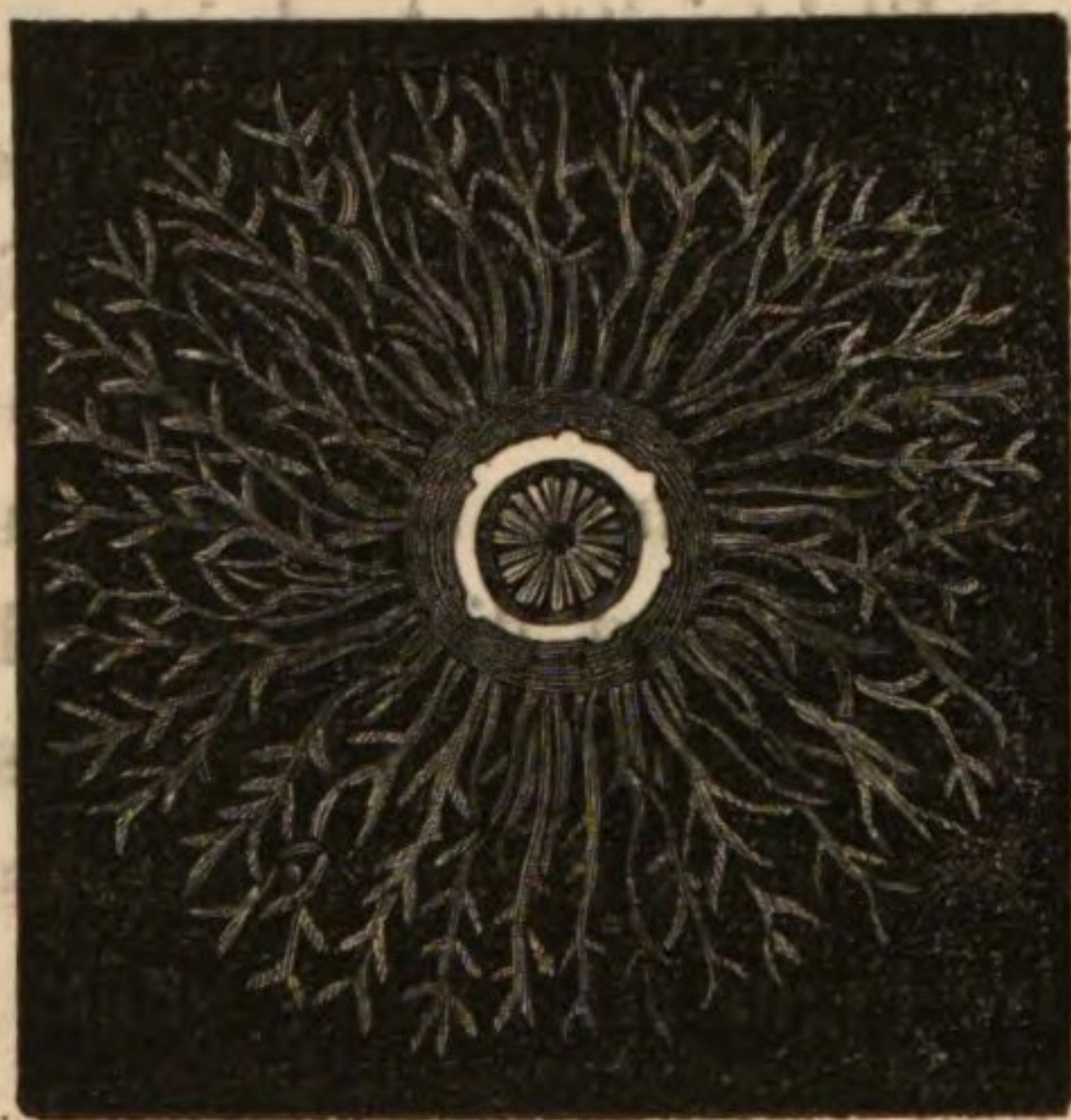
rend der Thätigkeit des Apparates nicht weit auseinander. Das elektrische Licht, das beim Oeffnen der Kette entsteht, erscheint nun stets auf der Seite des negativen Pols. Ist also die Spitze negativ, so erscheint nur sie von einem violetten Lichte eingehüllt, hat aber der Strom die entgegengesetzte Richtung, so erscheint die Spitze selbst dunkel, indem das Elektricum und mit ihm das Licht auf der Ebene des Blättchens rings um die Spitze hervortritt. Diese Erscheinung ist bekanntlich mittelst einer Loupe deutlich wahrzunehmen. Bei stärkeren Strömen ist sie aber deshalb nicht wohl zu beobachten, weil die Spitze vermöge der erzeugten Wärme in's Glühen geräth, wodurch die rein elektrische Lichterscheinung verdeckt wird.

40. Einen anderen bemerkenswerthen Unterschied der beiden entgegengesetzt elektrischen Zustände scheinen die nach *Lichtenberg* benannten Figuren auf dem Harzkuchen anzudeuten. Wird nämlich einer glatten Harzscheibe an irgend einer Stelle negative Elektricität mitgetheilt, so bilden sich um diese Stelle strahlenlose Ringe oder Zonen, wenn man sie mit feingepulvertem Colophonium, oder Schwefel, oder Mennige oder auch mit Bärlappsamen bestreut. Diese Erscheinung stellt *Figur I.* dar. Theilt man dagegen der

I.



II.



Harzscheibe an einer bestimmten Stelle sogenannte positive Elektricität mit, so zeigt das aufgestreute Pulver eine strahlige Figur, wie *Figur II.* Zur Darstellung dieser Figuren eignet sich ein kleines Metallglöckchen, das man auf den Harzkuchen setzt. Auf dasselbe lässt man einen Funken aus dem Conductor der Elektrisirmaschine überschlagen. Es erscheint dann beim Aufstreuen des Pulvers die eine oder andere Figur, je nachdem der Conductor positiv oder

negativ elektrisch war. Mit einer kleinen geladenen Leidner Flasche kann man sie bekanntlich ebenfalls darstellen, indem man die äussere Belegung in die Hand nimmt und den Knopf mit dem Harzkuchen irgendwo berührt. Auch dann tritt, je nachdem die innere Belegung der Flasche positiv oder negativ elektrisch war, die eine oder andere Figur auf. Das Pulver beutelt man gewöhnlich durch Leinwand, wodurch es selbst mehr oder weniger elektrisch wird. So wird pulverförmiges Colophonium stark negativ, Bärlappsamen (*semen lycopodii*) schwach positiv elektrisch. Um aber eine Figur in ihrer Zusammensetzung deutlich zu erkennen, wendet man immer ein Gemenge von zwei entgegengesetzt elektrischen Pulvern an, so von Zinnober und *semen lycopodii*, oder noch besser ein Gemenge von Schwefelblumen und Mennige. Im letzteren Falle erscheint Fig. I. roth, Fig. II. gelb. Riess kam nun durch Versuche zu dem Resultate, dass diese Figuren nur bei einer elektrischen Entladung mit Funken und Geräusch, oder bei einer von ihm sogenannten discontinuirlichen Entladung entstehen, wie sie in den angeführten Fällen der Darstellung auch wirklich stattfindet. Wenn die Entladung continuirlich, also leicht und völlig geräuschlos geschieht, so bildet sich bei längerer Dauer statt der eigentlichen elektrischen Staubfiguren nur eine gewisse Anzahl rundlicher Staufflecke, sowohl bei positiver als bei negativer Elektricität. Auch ist es zur Bildung der Figuren erforderlich, dass der sie erzeugende elektrische Zustand noch auf der Platte vorhanden ist, wenn der Staub aufgestreut wird. Es ergibt sich dies, wenn man die Platte nach Mittheilung der Elektricität kurze Zeit über eine Spiritusflamme hinführt, ohne sie merklich zu erwärmen. Durch die Flamme wird die mitgetheilte Elektricität vollständig abgeleitet, und es zeigt sich dann beim Bestäuben keine Figur. Riess macht noch besonders darauf aufmerksam, dass die gewöhnlich sogenannte positive Figur (II.) unter sonst gleichen Umständen einen beträchtlich und zwar etwa siebenmal grösseren Raum als die andere einnehme.

Wenn man nun einer glatten Harzfläche an einer bestimmten Stelle Elektricum plötzlich mittheilt, also jene negativ im gewöhnlichen Sinne elektrisirt, so muss dasselbe, vermöge der zwischen seinen Elementen bestehenden Repulsion, sich weiter ausbreiten, was aber, wegen der isolirenden Beschaffenheit der Harzplatte, nur so geschieht, dass sich zunächst um die vom Funken getroffene

Stelle ein Ring verdichteter Elektricität erzeugt, indem die Abstossung zwischen den elektrischen Elementen allseitig von Innen nach Aussen wirkt. Um den so entstandenen Ring kann sich in einem gewissen Abstände ein zweiter Ring etc., auf Grund derselben Repulsion bilden, so dass also das Elektricum sich gewissermassen wellenartig von der getroffenen Stelle über die Harzfläche verbreitet. (Fig. I.) Bei dieser Ausbreitung ist aber, abgesehen von sonstigen Hindernissen, ein Widerstand zu überwinden, der aus der Rückwirkung der elektrischen Sphären entspringt, die mit sich selbst und der Umgebung im Gleichgewichte um die Harztheilchen vorhanden waren. Wird dagegen die Harzfläche an einer bestimmten Stelle positiv elektrisirt, d. h. dieser Stelle plötzlich Elektricum entzogen, so dringt das der Platte eigenthümliche Elektricum aus der Umgebung in radialen Richtungen herbei, ohne jenen Widerstand in gleicher Weise zu finden, weshalb sich dann in diesem Falle die Störung des elektrischen Gleichgewichtes auf einen grösseren Raum der Harzfläche erstrecken wird, und hierin mag es liegen, dass die sogenannte positive Figur unter sonst gleichen Umständen grösser ist als die negative. Gleichwohl können die elektrischen Sphären des Harzes, während sie nach den ihres E beraubten Stellen dringen, miteinander in einen Conflict gerathen, der die Form der positiven Figur wesentlich bedingt. So können, indem das E der Harzscheibe in bestimmten Hauptrichtungen nach den erwähnten Stellen hinstrebt, gleichzeitig ähnliche Bewegungen des Elektricums von der Seite her nach jenen Richtungen entstehen, weil eben dadurch, dass das E in den letzteren sich hinwegbegibt, das E der dazwischen liegenden Stellen einen Antrieb empfängt, das gestörte elektrische Gleichgewicht wieder herzustellen. Daher die dendritenähnlichen Verästelungen der positiven Figur (II.).

Die Verhältnisse werden sich anders gestalten, wenn man ein Modell, z. B. einen Stempel oder ein Petschaft von Metall, auf eine glatte Harzfläche legt, und nun das erstere, wie bei Erzeugung der sogenannten Staubbilder dergestalt elektrisirt, dass keine zerreisende Entladung auf das Harz erfolgen kann. Man stelle das Modell auf eine recht ebene einfache Pechfläche, deren Unterlage abgeleitet ist, berühre das Modell mit dem Knopfe einer geladenen Leidner Flasche, hebe das Modell an einem isolirenden Handgriffe ab, und bestäube die Pechfläche mit einem Gemenge aus Schwefel und Mennige.

War die Flasche auf ihrem innern Beleg mit positiver Elektricität geladen, so erhält man das Bild des Modells wenig und roth bestäubt, den Grund mit krausen gelben Staubfiguren ausgefüllt; das ganze Bild von einem breiten gelben Strahlenringe umfasst. War die Flasche mit negativer Elektricität geladen, so ist das Bild wenig und gelb bestäubt, der Grund roth. Das Staubbild wird merklich geändert und erscheint weniger scharf, wenn das Modell vor dem Abheben entladen wird, und auch sonst, wenn die Flasche stark geladen ist. Um diese Bilder möglichst rein zu erhalten, zeigte sich Riess unter anderen nachstehendes Verfahren als sehr geeignet. Ein hohler mit Metallfassungen geschlossener Glaszylinder, in dem ein Stempel auf eine ebene Pechplatte gestellt war, wurde auf eine Luftpumpe geschraubt, und die Luft in demselben bis 3 Linien Barometerstand verdünnt. Alsdann wurde eine Leidner Flasche, mit 25 Funken positiver Elektricität geladen, einige Secunden lang an die obere Fassung des Cylinders gehalten, welche durch einen Draht mit dem Stempel verbunden war. Die Bestäubung der Pechplatte gab ein vollkommenes rothes Bild auf einem ganz gleichmässig bestäubten Grunde. Bei negativer Ladung der Flasche entstand ein vollkommenes gelbes Bild. Sonst erhielt Riess auch gute Bilder, wenn er den Stempel längere Zeit hindurch mit dem einen Pol einer trocknen Säule in Verbindung setzte, während der andere Pol zur Erde abgeleitet war.

Diese Bilder entstehen in ihrer reinsten Form durch Vertheilungselektricität, indem das elektrisirte Metall auf der Harzfläche, so weit es dieselbe bedeckt, den entgegengesetzten elektrischen Zustand hervorruft. Ist dasselbe positiv elektrisirt, d. h. enthält es weniger E als im gewöhnlichen Zustande, so dehnt sich das Elektricum der von ihm bedeckten Harzfläche zu ihm hin, so dass diese entgegengesetzt, nämlich negativ elektrisch wird. Wenn dagegen dem Metalle Elektricum mitgetheilt wird, so werden die elektrischen Sphären der darunter befindlichen Harzstellen nach der entgegengesetzten Seite zurückgedrängt, und die letzteren dadurch positiv elektrisirt. Je reiner dieser Vertheilungsprocess vor sich geht, desto vollkommener tritt das Bild der Metallplatte beim nachherigen Bestäuben der durch Vertheilung elektrisirten Harzstellen hervor. Die Bedingungen zur Entstehung der Lichtenberg'schen Figuren sind dann nicht gegeben, welche eben erfordern, dass der Harzfläche

irgendwo plötzlich, durch eine zerreissende Entladung, Elektricum mitgetheilt oder entzogen wird. Diese Figuren sind nun allerdings keine Eigenthümlichkeiten zweier Elektricitätsarten, sondern es ist ein und dasselbe Elektricum, welches dieselben durch seine Bewegung, freilich unter verschiedenen Umständen, erzeugt.

Riess*) geht bei der Erklärung der Lichtenberg'schen Figuren, die er im Gegensatz zu den durch Vertheilung (Influenz) hervorgebrachten Staubbildern, Staubfiguren nennt, von einem anderen Princip aus, das übrigens, falls man die Ausdrücke: positive und negative Elektricität auf entgegengesetzte elektrische Zustände bezieht, auch sehr wohl im Sinne der Franklin'schen Ansicht gedeutet werden kann. Die Erklärung von Riess gilt jedoch hauptsächlich der positiven Figur, während die negative auch nach ihm im Wesentlichen die oben angegebene Deutung findet. Zunächst wird nun darauf aufmerksam gemacht, dass eine discontinuirliche elektrische Entladung, wie sie bei Erzeugung der Lichtenberg'schen Figuren stattfindet, das Medium auf dem Wege der Entladung zusammendrücke, zerreisse und dass Theile desselben mit Heftigkeit nach allen Seiten umhergeschleudert würden. „Bei der Entladung zwischen einer Metallspitze und einer isolirenden Fläche lehren die Hauchfiguren**), dass die fremde Schicht, welche die Fläche bedeckt, an vielen Stellen aufgerissen und entfernt wird; es werden daher Theile dieser Schicht mit Luft gemischt bei der Entladung gegen die Fläche geworfen. Nehmen wir nun an, dass diese Schicht zum Theil aus condensirtem Wassergase bestehe, so folgt, dass bei der Bildung der Staubfiguren feuchte Luft gegen die isolirende Fläche getrieben wird.“ Alsdann wird auf Versuche von Faraday hingewiesen, nach welchen feuchte Luft ebenso wie feuchter Wasserdampf Körper der verschiedensten Art, wenn sie dieselben in einem Strome treffen oder bestreichen, negativ elektrisch machen. „Unter der obigen Annahme wird demnach jede Platte aus beliebigem Stoffe dadurch, dass eine discontinuirliche elektrische Entladung sie trifft, negativ elektrisch, und die von der Entladung übrig bleibende Elektricität hat sich auf einer isolirenden Fläche zu verbreiten, die zugleich negativ elektrisch gemacht wird. Nothwendig wird die Ver-

*) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 38—44.

**) Ebenda S. 15 ff.

breitung und davon abhängige Anordnung der überschüssigen Elektricität eine andere sein, wenn diese Elektricität positiver, als wenn sie negativer Art ist; sie wird sich im ersten Falle weiter und leichter verbreiten, als im letzten. Abhängig von dieser verschiedenen Ausbreitung der Elektricitäten ist die Formverschiedenheit beider Figuren; die zusammengedrückte abgerundete Form der negativen Staubfigur ist für sich klar, während die strahlige Form der grösseren positiven Figur die Beachtung erfordert, dass bei ihr die secundär auf der Platte erregte Elektricität mit der sich darauf verbreitenden ungleichartig ist und von derselben neutralisirt wird.“

Nimmt man im Sinne der dualistischen Ansicht zwei selbstständige elektrische Fluida, eine positive und negative Elektricität, an, so wird sich jede nach demselben Gesetze auf einer isolirenden Fläche verbreiten, und die Form der Ausbreitung würde (vermöge der elektrischen Repulsion) der sogenannten negativen Figur (I.) entsprechen. Wird nun ein bestimmter Raum der Fläche positiv und negativ zugleich elektrisirt, so werden sich gleiche Quantitäten beider Elektricitäten neutralisiren, und der Ueberschuss der einen, hier positiven Elektricität wird sich dann ebenso wie die negative verbreiten. Es würde also auch hier die Figur I. resultiren, nur in kleineren Dimensionen, da ja die sich ausbreitende positive Elektricität (unter sonst gleichen Umständen) geringer ist als im anderen Falle die negative, welche in Folge der negativen Elektrisirung der Fläche durch die discontinuirliche Entladung einen Zuwachs erhält. Wenn jedoch diese negative Elektrisirung sich über den Raum hinaus erstreckt, welchem die positive Elektricität eigentlich mitgetheilt wird, so kann man wohl sagen, dass die letztere überall in den Raum der negativen Elektricität eindringe, um sich mit dieser zu neutralisiren, wodurch denn sowohl die grössere Ausdehnung als auch die eigenthümliche Form der positiven Figur bedingt werde. Aber auch in dieser Art und Weise der Neutralisirung beider Elektricitäten tritt die Form- und Grössenverschiedenheit beider Staubfiguren noch nicht klar zu Tage.

41. Wenn der elektrische Funke durch einen Nichtleiter, z. B. durch ein Kartenblatt oder eine dünne Glasplatte, hindurchschlägt, so erzeugt er ein feines Loch, das auf beiden Seiten aufgeworfene Ränder zeigt. Wir wollen annehmen, ein Kartenblatt befinde sich gerade zwischen den Spitzen zweier Drähte, von denen der eine mit

dem positiven, der andere mit dem negativen Beleg einer Leidner Flasche in Verbindung steht. Ist nun an der Spitze des negativen Drahtes Elektricum angehäuft, so wird dieses die elektrischen Sphären des Nichtleiters nach der anderen Seite hindrängen, während dieselben sich hier dem positiven Drahte zuwenden. Dabei erleiden diese Sphären, welche im Zustande des Gleichgewichtes um die Molecüle des schlechten Leiters vorhanden waren, eine Veränderung ihrer Form, indem sie gewissermassen die Gestalt eines Kegels annehmen, dessen Spitze nach der negativen Seite hin gelegen ist. Im Moment der Entladung tritt nun auf der Seite des positiven Drahtes so viel Elektricum aus dem Nichtleiter hervor, als von der anderen Seite her in denselben eindringt, und dies ist auch der Augenblick, wo die elektrischen Elemente wieder in die anfängliche Gleichgewichtslage um die Molecüle des Nichtleiters oder, was dasselbe ist, in die Form von Sphären zurückzukehren streben. Hierbei entsteht aber nothwendig eine Rückwirkung, welche der Richtung des elektrischen Druckes (von der negativen Seite her) entgegengesetzt ist. Daher aufgeworfene Ränder auf beiden Seiten des Loches. Das Elektricum geht also durch einen sogenannten Nichtleiter nicht ganz auf dieselbe Weise hindurch, wie etwa eine Stecknadel durch ein Kartenblatt, die freilich nur da einen ausgebogenen Rand bewirkt, wo sie hervordringt. Wenn das Elektricum von der einen Seite her in einen Nichtleiter eindringt, so findet stets eine Rückwirkung statt von Seiten der elektrischen Sphären, die um die Molecüle dieses Körpers vorhanden sind. Die Elemente des eindringenden E gerathen nun sowohl untereinander als auch mit jenen Sphären, die ihre natürliche Gestalt (Gruppierung) im Moment der Entladung wieder zu gewinnen suchen, in Repulsion, und hieraus entspringt eben die Rückwirkung, die auf der Seite des Eindringens den ausgebogenen Rand hervorbringt. Diese Ansicht ist eine nothwendige Folge unseres Grundprincips, und thatsächlich erscheint auch das Loch stets so, wie wenn es von der Mitte nach den beiden Aussenflächen aufgerissen sei.

Befindet sich das Kartenblatt zwischen den beiden Drahtspitzen dergestalt, dass sie die beiden Flächen desselben in einem Abstände von etwa 1 Zoll berühren, so wird das Blatt, wie Lullin zuerst gezeigt hat, an der negativen Spitze durchbohrt. Das hier angehäuften Elektricum pflanzt nämlich in diesem Falle seinen Druck

seitwärts (auf dem Raume zwischen beiden Drahtenden) nach der positiven Spitze hin fort, während auf der anderen Seite das Elektricum des Nichtleiters natürlich in ähnlicher Weise nach der eben genannten Spitze hindrängt. Das jenen Druck bewirkende Elektricum hat aber, in Folge des Luftwiderstandes, oder vielmehr wegen des Widerstandes, den die elektrischen Sphären der Lufttheilchen ihm entgegensetzen, seine grösste Spannung in der Nähe der negativen Spitze selbst, und wird also auch hier in das Blatt eindringen. Wird dagegen die Luft gehörig verdünnt, so gewinnt die seitliche Fortpflanzung des der positiven Spitze zugewandten elektrischen Druckes grössere Energie, und die Durchbohrungsstelle rückt dann, nach Tremery's Versuchen, immer mehr nach dieser Spitze hin.

Riess*) benutzt die oben erwähnte negative Elektrisirung einer Fläche durch eine discontinuirliche elektrische Entladung auch zur Erläuterung des eben von uns erklärten Lullin'schen Versuches, indem er dabei noch die von ihm festgestellte Thatsache berücksichtigt, dass jede Entladung der Leidner Flasche aus einer grossen Menge von Partialentladungen besteht, die in kurzer Zeit aufeinander folgen. Man nehme nun an, dass in diesem Versuche die ersten Partialentladungen an beiden Spitzen stattfinden und durch ihre mechanische Wirkung die Flächen der Karte in der Nähe der Spitzen negativ elektrisch machen. Dann werden die nächsten Entladungen von der Spitze aus, welche positive Elektricität abgibt, sich immer weiter auf der Kartenfläche gegen die negative Spitze hin verbreiten können, während an dieser die Entladungen auf einen kleinen Raum beschränkt bleiben. Nach Verdünnung der Luft geschehen die Entladungen nicht mehr an der Oberfläche der Karte, sondern über derselben, die Bedingung zur negativen Elektrisirung der Kartenflächen fällt fort und die Entladungen können von beiden Spitzen aus gleichmässig fortgehen, so dass sie auf den entgegengesetzten Flächen eine nahe gleiche Ausdehnung erhalten.

42. Eines von den wichtigsten und in der Natur am häufigsten vorkommenden Erregungsmitteln der Elektricität ist die Berührung ungleichartiger Körper. Solche Körper befinden sich während der Berührung in entgegengesetzt elektrischen Zuständen; der eine ist

*) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 43.

positiv, der andere negativ elektrisch, — eine Thatsache, die sich für ungleichartige Metalle bekanntlich leicht an einem condensirenden Elektroskope nachweisen lässt. So wird Zink in Berührung mit Kupfer positiv, das letztere dagegen negativ elektrisch. Doch scheint die Elektricität, welche während der Berührung zweier Metallplatten auf beiden frei auftritt, nur ein geringer Theil derjenigen zu sein, welche überhaupt durch die Berührung beider Platten entwickelt wird. Wenn man nämlich beide Metalle nach der Berührung isolirt von einander trennt, so zeigt sich die elektrische Spannung auf jeder um so stärker, je grösser die Anzahl der Berührungspunkte war. Die Intensität der elektrischen Erregung ist aber in jedem Berührungspunkte gleich gross, und es ist auch, falls beide Platten miteinander in Berührung bleiben, gleichgiltig, ob dieselben sich in wenigen oder vielen Punkten berühren. Bringt man daher ein Stück Zink mit der kupfernen Collectorplatte eines empfindlichen Elektroskopes in Berührung, während die obere Condensatorplatte zur Erde abgeleitet ist, so wird nach Hinwegnahme dieser Platte der Ausschlag des Elektroskopes, wie gross oder klein auch die Anzahl der Berührungspunkte sein mag, immer von derselben Grösse erscheinen. Ist die eine Metallplatte, z. B. die Kupferscheibe, isolirt, die andere aber nicht, sondern in leitender Gemeinschaft mit der Erde; so wird der elektrische Zustand dieser Platte durch Ableitung nach der Erde ausgeglichen, und in demselben Masse, in welchem dies geschieht, wächst die Spannung der freien entgegengesetzten Elektricität auf jener Platte. Deshalb erhält man auch in dem zuvor erwähnten Versuche einen viel stärkeren Ausschlag, wenn man die Collectorplatte (aus Kupfer) mit einem nicht isolirten Zinkstück berührt. Die Differenz der elektrischen Spannungen auf beiden Platten ist aber stets dieselbe, mögen nun beide Platten oder nur die eine von ihnen isolirt sein. Bezeichnet man nämlich die Spannung der freien positiven Elektricität auf der Zinkplatte durch $+e$, so lässt sich die Spannung der freien negativen Elektricität auf der gleich grossen Kupferplatte durch $-e$ ausdrücken, und die elektrische Differenz ist dann bekanntlich $= 2e$. Berührt man nun die eine Platte ableitend mit der Erde, so wird ihre Spannung $= 0$, während die der anderen auf $2e$ steigt. Die elektrische Differenz ist also wieder $= 2e$. Bringt man die eine, z. B. die Kupferplatte nicht mit der Erde, sondern mit einem begrenzten Leiter in Verbindung, oder gibt man derselben

eine grössere Oberfläche als der Zinkplatte; so sinkt die Spannung der freien negativen Elektricität auf dem Kupfer im Verhältniss zum ableitenden Umfange desselben zu einer bestimmten Grösse herab, während die Spannung der freien positiven Elektricität auf der Zinkplatte um eben so viel steigt. Die elektrische Differenz bleibt stets unverändert.

Um sich zu überzeugen, dass die Contactelektricität nicht durch Druck oder Reibung hervorgebracht werde, löthet man wohl auch eine etwas längliche Zink- und eine gleich grosse Kupferplatte aneinander, und stellt dann mit dieser Doppelplatte den Versuch in der Weise an, dass man die eine, etwa die Zinkplatte, in die Hand nimmt und mit der anderen die Collectorplatte berührt, während die Condensatorplatte mit dem Boden in leitender Verbindung steht. Selbst nach einer beliebig langen Zeit zeigen sich die aneinander gelötheten Platten noch elektrisch.

Wie bei der Berührung von Zink und Kupfer, so wird auch bei dem Contact anderer ungleichartiger Metalle ein elektrischer Gegensatz hervorgerufen, dessen Eigenthümlichkeit durch die Natur der Körper bedingt ist. So wird Zink auch in Berührung mit Platin, und zwar stärker als mit Kupfer, positiv elektrisch. Kupfer aber, im Contact mit Zink negativ elektrisch, wird durch Berührung mit Platin positiv erregt.

Wie oft nun auch zwei durch gegenseitige Berührung elektrisirte Metalle in den gewöhnlichen Zustand zurückgeführt werden, eben so oft nehmen sie bei unverändertem Contact wieder entgegengesetzt elektrische Zustände an, so dass also die Berührung ungleichartiger Leiter unter geeigneten Umständen eine unerschöpfliche Elektricitätsquelle darbietet. Für die Stärke der elektrischen Ladung zweier Leiter findet aber eine gewisse Grenze statt, die erreicht ist, sobald das Streben zur Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände im Gleichgewichte steht mit der Stärke der erregenden Ursache.

Bei der Berührung von Metallen mit verschiedenen Gasarten findet ebenfalls eine merkliche Elektricitäts-erregung statt, indem die meisten Metalle durch Berührung mit Wasserstoff stark negativ, mit Sauerstoff, Chlor und Brom aber unter Umständen positiv elektrisch werden. Man hat nun die Metalle nebst anderen Körpern in eine Reihe zusammengestellt, dergestalt, dass jeder vorhergehende in Berührung mit irgend einem der nachfolgenden negativ, der letztere

also positiv elektrisch wird. Je weiter zwei Körper in dieser Reihe von einander abstehen, desto grösser ist die Intensität der durch ihren gegenseitigen Contact erregten elektrischen Zustände, oder, was dasselbe, um so grösser ihre elektrische Differenz. Für die sogenannten chemischen Grundstoffe gilt nachstehende elektrische Spannungsreihe, in welcher jeder vorhergehende Körper durch Berührung mit irgend einem der nachfolgenden negativ elektrisch wird: Sauerstoff, Schwefel, Kohlenstoff, Platin, Gold, Silber, Kupfer, Blei, Eisen, Zinn, Zink, Wasserstoff, Natrium, Kalium.

Die elektrische Differenz je zweier beliebiger Glieder in der Spannungsreihe ist nun gleich der Summe der elektrischen Differenzen der Zwischenglieder. Werden z. B. Zink, Kupfer und Platin in dieser Reihenfolge miteinander in Berührung gebracht, so ist die Summe der elektrischen Erregungen zwischen Zink und Kupfer, und zwischen Kupfer und Platin gleich der elektrischen Erregung zwischen Zink und Platin. Wenn man also verschiedene Glieder der Spannungsreihe aufeinander legt, so ist die elektrische Spannung der Endglieder eben so gross, als wenn sich diese unmittelbar berührten. Sind die Endglieder durchaus gleichartig, bestehen sie etwa aus einem und demselben Metall, so nehmen sie gar keine elektrische Ladung an.

Durch den Contact tropfbarer Flüssigkeiten mit Metallen werden gleichfalls entgegengesetzt elektrische Zustände veranlasst, obschon die Flüssigkeiten keine bestimmte Stelle in der Spannungsreihe der Metalle einnehmen. Man kann sich von dem letzteren leicht durch den Versuch überzeugen, wenn man mit dem Elektroskope einen Condensator verbindet, dessen eine Scheibe aus Kupfer, die andere aus Zink besteht. Die erste Scheibe werde nun von einem Kupfer-, die andere von einem Zinkstreifen berührt, die beide, aber ohne sich zu berühren, in gewöhnliches Wasser tauchen. Die Zinkplatte nimmt dann eine negative, die Kupferscheibe eine positive Ladung an, während, wenn dem Wasser eine bestimmte Stelle in der Spannungsreihe der Metalle zukäme, gerade das entgegengesetzte, nämlich dasselbe stattfinden müsste, als wenn die beiden Condensatorplatten durch einen Zink- oder Kupferdraht miteinander verbunden wären. Es würde dann bekanntlich die Zinkplatte positiv, die Kupferplatte dagegen negativ elektrisch werden.

Bei weitem geringer als die bisher betrachtete Contactelektricität ist diejenige, welche bei der gegenseitigen Berührung tropfbarer Flüssigkeiten hervortritt.

Man nennt nun jedes Paar heterogener Körper, insofern sie bei ihrem gegenseitigen Contact Elektricität erregen, einen Elektromotor, und das gegenseitige Verhältniss beider Körper zueinander, dem zu Folge der eine positiv, der andere negativ elektrisch wird, ihr elektromotorisches Verhältniss.

43. Wenn man eine Reihe von Metallplatten, z. B. abwechselnd Zink- u. Kupferplatten, so aufeinander legt, dass immer Zink und Kupfer einander berühren, so kann dadurch keine Verstärkung der elektrischen Zustände herbeigeführt werden, da die Endplatten ganz in derselben Masse elektrisch werden, als ob sie sich unmittelbar berührten. Dagegen tritt eine solche Verstärkung allerdings ein, wenn man je zwei Plattenpaare durch einen Leiter zweiter Ordnung miteinander verbindet, d. h. durch einen flüssigen Leiter, dem in der Spannungsreihe der Metalle keine bestimmte Stelle zukommt. Man erhält dann die nach Volta benannte elektrische Säule oder Batterie, in welcher die Spannung jeder zunächst vorhergehenden Platte sich durch den feuchten Leiter dem folgenden Plattenpaare mittheilt. Die Spannungen der positiven und negativen Elektricität schreiten nun nach entgegengesetzten Richtungen von einem Plattenpaar zum anderen nahezu in arithmetischer Progression fort; und die elektrische Spannung der Säule wächst daher mit der Anzahl der Plattenpaare, die in derselben Ordnung durch Vermittelung des feuchten Leiters aufeinander geschichtet sind. Bringt man das eine Ende in leitende Verbindung mit der Erde, so steigt die elektrische Spannung an dem anderen, der Erfahrung gemäss, auf das Doppelte, und die ganze Säule zeigt dann die diesem Ende zugehörige Elektricität. Da aber nicht allein beim Contact von Metallen, sondern auch zwischen diesen und tropfbaren Flüssigkeiten eine elektrische Erregung stattfindet, so kann die letztere je nach den Umständen, die Wirksamkeit der Säule erhöhen oder verringern. Zink und Kupfer z. B. werden in Berührung mit Wasser beide, nur das erstere weit stärker, negativ elektrisch. Weil nun der hierdurch veranlasste negativ elektrische Zustand des Zinks sich der berührenden Kupferplatte mittheilt, so wird hier, wie noch in vielen anderen Fällen ähnlicher Art, die elektrische Ladung verstärkt. Ist die elektrische Differenz zwischen Zink und

Kupfer $= 2e$, während die elektrische Erregung des Wassers durch beide Metalle der Differenz $2E$ entspricht, so hat man z. B. bei 4 Plattenpaaren für die elektrische Differenz der Endglieder $4 \cdot 2(e + E)$, wenn das eine Ende mit der Erde communicirt.

Die beiden Enden der Volta'schen Säule, von denen das eine positiv, das andere negativ elektrisch ist, nennt man bekanntlich die Pole der Säule, und zwar das eine Ende den positiven, das andere den negativen Pol.

Eigenthümliche Erscheinungen treten auf, wenn man die beiden Pole einer Säule durch einen Leiter, etwa durch einen Metalldraht miteinander verbindet. Es findet dann vermittelt des letzteren eine Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände statt, die sich aber, so lange das Contactverhältniss der einzelnen Kettenglieder unverändert bleibt, in derselben Weise erneuern. Der elektrische Strom nun, der hierbei zu Tage tritt, lässt sich betrachten als das Product einer continuirlichen Ausgleichung entgegengesetzt elektrischer Zustände, indem die Kette in raschem Wechsel sich entladet und wieder ladet. Während dies geschieht, ist die freie Spannung jener Zustände (nach aussen hin) grösstentheils aufgehoben, so dass sie dann auch nicht mehr in dem Masse, wie in ihrem Gleichgewichtszustande bei geöffneter Kette, auf ein condensirendes Elektrometer zu wirken vermögen, und zwar um so weniger, je geringer der Widerstand ist, der sich im Schliessungsbogen der Ausgleichung dieser Zustände entgegenstellt. Die Spannungsdifferenz beider Pole nennt man aber die elektromotorische Kraft der geschlossenen Säule, und diese Kraft ist proportional der elektroskopischen Spannung der Pole an der geöffneten Säule.

Während der inneren Thätigkeit der Säule begegnen sich beide elektrische Zustände in entgegengesetzten Richtungen, indem von dem einen Pol her der positiv, von dem andern aus der negativ elektrische Zustand fortschreitet. - Unter Richtung des elektrischen Stromes versteht man aber gewöhnlich diejenige Richtung, in welcher der positiv elektrische Zustand sich fortpflanzt, da es dann von selbst klar ist, dass der negative sich allemal im entgegengesetzten Sinne ausbreitet. Die Pole der Säule nennt man nun nach Faraday's Vorschlag, wohl auch Elektroden (von $\delta\delta\omicron\varsigma$, Weg), da dieselben den Weg des elektrischen Stromes bezeichnen und gewissermassen die Thüren sind, durch welche der Strom aus- und eintritt.

Die eben betrachtete Volta'sche Säule hat man bekanntlich schon lange durch andere, bequemere Formen ersetzt. So kann man mit der betreffenden Flüssigkeit eine Anzahl von Gläsern füllen, von denen jedes zwei ungleichartige Metalle, etwa eine Zink- und Kupferplatte enthält, die in der Flüssigkeit in einer gewissen Entfernung von einander abstehen, während jede Zinkplatte mit der Kupferplatte des folgenden Glases durch einen Kupferstreifen verbunden ist. Die beiden Endglieder (Pole) können dann, wenn man die Kette schliessen will, durch einen Metalldraht miteinander in leitende Gemeinschaft gesetzt werden.

Eine einfache Volta'sche oder galvanische Kette wird erhalten, wenn man zwei verschiedenartige Metalle, welche an einem oder mehreren Punkten miteinander in metallischer Berührung stehen, an anderen Punkten durch einen flüssigen Leiter miteinander verbindet. So bilden zwei ungleichartige Metalle, sie mögen nun beliebig gross oder klein an Masse sein, schon eine solche Kette, wenn sie ganz innerhalb einer Flüssigkeit sich in einigen Punkten unmittelbar berühren. Die Elektrizität kann auch dann von dem einen Metall durch die Flüssigkeit zu dem andern übergehen. Gewöhnlich stellt man jedoch eine einfache Kette her, indem man zwei heterogene Metallplatten in eine leitende Flüssigkeit taucht, und dieselben ausserhalb der letzteren durch einen Draht miteinander in Verbindung setzt. Die Platten dürfen dann aber innerhalb der Flüssigkeit nur durch diese miteinander communiciren. Man kann auch aus einem der beiden heterogenen Metalle ein Gefäss verfertigen, dasselbe mit einer leitenden Flüssigkeit füllen und in diese das andere der beiden Metalle so einsenken, dass es die Wände des Gefässes nicht berührt. Ein Schliessungsdraht dient wieder, beide Metalle ausserhalb der Flüssigkeit miteinander zu verbinden. Sind nun die beiden metallischen Glieder einer einfachen Kette Zink und Kupfer und ist der flüssige Leiter etwa verdünnte Schwefelsäure, so geht der positiv elektrische Zustand allemal vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer, während der negative in entgegengesetzter Richtung durch den Schliessungsdraht nach der Flüssigkeit fortschreitet.

Statt einer Flüssigkeit kann man bekanntlich auch mit Vorthail zwei verschiedenartige Flüssigkeiten, von denen jede mit einem besonderen Metall in Berührung ist, zur Construction einer galvanischen Kette verwenden. Hierher gehören die sogenannten constanten

Ketten von Daniell, Becquerel, Grove und Bunsen. Bei der ersteren z. B. wird ein Glasgefäß mit einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol angefüllt und in diese ein offener Cylinder von Kupferblech gebracht. Alsdann füllt man einen porösen Thoncylinder mit verdünnter Schwefelsäure, taucht in diese einen hohlen, offenen Zinkcylinder, und stellt nun den ersteren in die Vitriollösung. Sowohl an den Kupfer- als auch an den Zinkcylinder ist ein Kupferdraht gelöthet, wodurch die Kette geschlossen werden kann, wenn ihre Thätigkeit beginnen soll. Mehrere solcher einfachen Ketten (galvanische Elemente) lassen sich dann leicht zu einer zusammengesetzten Kette (Batterie) miteinander verbinden, die im Wesentlichen dieselben Erscheinungen wie die Voltasche Säule darbietet.

Man nennt nun überhaupt jede galvanische Combination, bei der wenigstens ein Glied aus einer Flüssigkeit besteht, eine hydroelektrische Kette, im Gegensatze zu den Zambonischen oder trocknen Säulen, bei denen je zwei Plattenpaare durch einen starren, mehr oder weniger feuchten Körper miteinander verbunden sind. Gewöhnlich verfertigt man solche Säulen aus unächtem Gold- und Silberpapier, indem man zwei Blätter davon mit der Papierseite aneinander klebt und dann daraus Scheiben von etwa 2 Zoll Durchmesser schneidet. Diese Scheiben legt man in der gehörigen Ordnung aufeinander, so dass immer das Silber der einen mit dem Gold der anderen Scheibe in Berührung kommt. Bei einer solchen Säule vertritt also das Papier die Stelle des feuchten Leiters in der Volta'schen Kette. Trockne Säulen, die aus einer grösseren Anzahl jener Scheiben aufgeschichtet sind, zeichnen sich bekanntlich durch ihre elektroskopischen oder Spannungs-Erscheinungen aus, obschon sie sonst der Volta'schen Säule an Wirksamkeit bei Weitem nachstehen. Die hydroelektrischen Ketten können aber füglich in zwei Abtheilungen gebracht werden. Bei der einen ist nämlich die Richtung des elektrischen (galvanischen) Stroms bedingt durch die elektrische Erregung zwischen den Metallen selbst, bei den anderen durch die elektrische Differenz zwischen Metall und Flüssigkeit. Die sogenannten Gasbatterien oder Gassäulen beruhen endlich auf der elektrischen Erregung zwischen einem Metall und verschiedenen Gasarten.

44. Nimmt man nun ein elektrisches Fluidum an, das allenthalben in der Natur verbreitet ist, so werden die unter sich gleichartigen Elemente desselben, nach dem bereits dargelegten Princip,

die Massentheilchen der Körper umgeben, und der Oberfläche eines jeden Körpers wird eine elektrische Schicht gewissermassen adhären, deren Elemente jedoch sowohl untereinander als auch in Hinsicht auf die Umgebung im Gleichgewichte sind. Reflektirt man aber auf zwei ungleichartige Körper M und N, so ist zu erwarten, dass die Spannungsverhältnisse der elektrischen Schicht auf ihren Oberflächen nicht durchaus von gleicher quantitativer Beschaffenheit sind. Und dieser Unterschied, bedingt durch die materielle Verschiedenheit beider Körper, wird sich geltend machen, wenn dieselben miteinander in Contact gerathen. In diesem Falle kann die Repulsion beider Körper gegen das Elektricum nicht mehr im Gleichgewichte stehen, und die nothwendige Folge davon ist, dass eine bestimmte Quantität desselben aus dem einen Körper, etwa aus M in den anderen N übergeht. Beide Körper befinden sich nun in entgegengesetzt elektrischen Zuständen; M enthält weniger, N dagegen mehr Elektricum als sonst, jener ist geneigt, einiges E von Aussen her aufzunehmen, während dieser sich des empfangenen Elektricum zu entledigen sucht. Der gegenseitigen Ausgleichung des elektrischen Gegensatzes beider Körper, wozu wohl das Streben vorhanden ist, steht ihre materielle Verschiedenheit entgegen, die so lange einen Erfolg hat, als die Berührung dieser Körper dauert. Führt man aber den einen oder anderen Körper durch ableitende Berührung mehr oder weniger in den gewöhnlichen Zustand zurück, so wächst in demselben Masse die Intensität des entgegengesetzt elektrischen Zustandes in dem anderen. Theilt man z. B. dem Körper M etwas Elektricum mit, so hat dieses das durch den materiellen Gegensatz beider Körper bedingte Streben, nach N überzugehen, und wenn auch kein wirklicher Uebergang stattfinden sollte, weil N die dem genannten Gegensatze entsprechende Menge von E schon aufgenommen hat, so wird doch die Spannung dieser letzteren in Folge jenes Strebens nothwendig gesteigert werden. Wenn man umgekehrt dem Körper N etwas von dem Elektricum entzieht, das er von M empfangen hat, so fällt damit ein Gegendruck (nach M hin) fort, und in dem Grade als dies geschieht, wächst die Fähigkeit des M, Elektricum von Aussen her anzunehmen. Bei allen diesen Vorgängen ist aber gewiss die Freiheit, womit das E in den betreffenden Körpern sich bewegen kann, oder das Leitungsvermögen der letzteren von einer nicht zu verkennenden Bedeutung.

45. Wenn man nun Plattenpaare ungleichartiger Leiter, z. B. von Zink und Kupfer, durch Vermittelung einer Flüssigkeit nach Art der Volta'schen Batterie aneinander reiht, so findet in jedem Plattenpaare eine elektrische Erregung statt, indem das Elektricum aus dem einen Metall (Zink) in das andere (Kupfer) übergeht, so dass dann jenes positiv, dieses negativ elektrisch wird. Das auf der



Kupferplatte des ersten Paares angehäuften E geht aber durch die Flüssigkeit zum Kupfer des zweiten Paares über. Hierzu gesellt sich noch die Contactelektricität zwischen Metall und Flüssigkeit. Werden nämlich beide Metalle, vorzugsweise jedoch das Zink im Contact mit der Flüssigkeit negativ elektrisch, in so fern das der letzteren inwohnende E sich theilweise dem Zink mittheilt, so geht auch dieses E nach der Kupferplatte des zweiten Paares, u. s. w. Man wird nun erkennen, dass in der Volta'schen Batterie, wie auch in jeder anderen elektrischen (galvanischen) Kette, eine durch den Gegensatz der Kettenglieder bedingte Verschiebung des E von der einen Seite nach der anderen hin stattfindet. Es ist also an dem einen Ende (negativen Pol) Elektricum angehäuft, das nach aussen strebt, während das andere Ende (positiver Pol) solches aus der Umgebung aufzunehmen sucht. Wird nun mit dem negativen Pol einer galvanischen Kette oder Batterie ein Metalldraht verbunden, so wird das hier angehäuften Elektricum zunächst einen Druck ausüben auf die dem Drahte eigenthümliche Elektricität, so dass dieselbe nach der anderen Seite, d. h. nach dem freien Ende des Drahtes hin eine Verschiebung erleidet. Dieses Drahtende wird daher mit Elektricum in einer gewissen Masse geladen oder negativ elektrisirt. Ganz dasselbe, nur in entgegengesetzter Richtung, geschieht, wenn man mit dem positiven Pol einen Draht verbindet. Das in diesem Drahte bisher im Gleichgewichte mit sich selbst vorhandene Elektricum zieht sich dann nach dem eben genannten Pol hin, wodurch das freie Ende des Drahtes positiv, d. h. seines eigenen E in gewisser Masse beraubt wird. Bringt man beide Drahtenden miteinander in Berührung, so findet eine Ausgleichung dieser entgegengesetzt elektrischen Zustände statt; das an dem negativen Drahtende angehäuften

Elektricum dringt in die positive Spitze des anderen Drahtes ein, während das dem letzteren zugehörige E vom positiven Pol der Batterie aufgenommen wird. Hiermit stellen sich aber die entgegengesetzt elektrischen Zustände sowohl in der Kette als auch im Schliessungsbogen wieder her, so dass also die Ausgleichung des elektrischen Gegensatzes fast unmittelbar mit dessen Wiederherstellung verbunden ist, so lange nämlich die Contactverhältnisse der Kettenglieder keine merkliche Veränderung erfahren haben.

Werden beide Poldrähte mit der Erde in eine gut leitende Gemeinschaft gesetzt, so ist gleichfalls die Bedingung zu einer vollständigen Entladung und wiederholten Ladung der Kette gegeben, selbst dann, wenn beide Drahtenden so weit auseinander liegen, dass eine gegenseitige Einwirkung derselben durch die dazwischen liegende Erdstrecke nicht wohl annehmbar ist. Die volle Schliessung der galvanischen Batterie durch diese zwischen den Drahtenden befindliche Erdschicht, so dass die Elektrizität etwa durch die letztere ihren Weg nehmen müsste, erscheint nach unserer Theorie hier ebenso wenig, wie bei der Entladung der Leidner Flasche, nothwendig, sondern es genügt, wenn das vom negativen Pol abfliessende E auf der anderen Seite durch die Erde wieder vollständig ersetzt werden kann. Während also das am negativen Pol angehäuften Elektricum sich ringsum der Erde mittheilt, nimmt der positive Pol durch den betreffenden Draht solches ringsum von der Erde auf, und die Entladung der Kette nach der einen Seite ist demnach mit einer neuen Ladung derselben von der andern Seite her verbunden.

46. Wenn die entgegengesetzt elektrischen Zustände, in welchen die beiden Pole einer galvanischen Kette sich befinden, in dem metallischen Schliessungsbogen zur Ausgleichung gelangen, so ist in jedem Querschnitte des letzteren momentan eine gewisse Elektrizitätsmenge vorhanden, die abhängig ist von der elektromotorischen Kraft oder von der Differenz der elektrischen Spannungen beider Pole. Die elektromotorische Kraft ist aber bedingt durch den Gegensatz oder überhaupt durch das Contactverhältniss der einzelnen Kettenglieder, wodurch die Grösse des Druckes bestimmt wird, welchen das am negativen Pol angehäuften Elektricum auf das im Gleichgewichtszustande befindliche E des Schliessungsbogens ausübt. In Folge dieses Druckes dringt eine gewisse Menge von E in den Schliessungsbogen ein, während der positive Pol aus dem letzteren eine

entsprechende Quantität desselben aufnimmt. Indem nun die entgegengesetzt elektrischen Zustände im Schliessungsbogen sich ausgleichen, findet eine neue Ladung der Kette statt, so dass also der Entladungsstrom des Schliessungsbogens mit einem Ladungsstrom in der Kette verbunden ist.

Unter der Stärke des Stromes versteht man bekanntlich die Menge der Elektricität, welche in einer gewissen Zeit durch einen bestimmten Querschnitt des Schliessungsbogens geht. Diese Menge ist nun bedingt einmal gewiss durch die elektromotorische Kraft, mit der sie im directen Verhältniss steht, und dann noch dadurch, wie oft in der gegebenen Zeit die Entladung der Kette im Schliessungsbogen, also auch in dem bestimmten Querschnitte desselben erneuert wird. Dieser letztere Umstand hängt aber jedenfalls ab von der Geschwindigkeit, womit die Störung des elektrischen Gleichgewichts im Schliessungsbogen sich fortpflanzt, oder wie man gewöhnlich sagt, von dessen Leitungswiderstande, welcher auch die Zeit vorstellen kann, binnen welcher die Entladung im Schliessungsbogen vollzogen wird. Da nun jede folgende, einzelne Entladung der Kette erst dann eintreten kann, nachdem die letztere sich wieder geladen hat; so erkennt man, dass die Anzahl der Partialentladungen in einer gegebenen Zeit, und also auch die Menge der Elektricität, welche in dieser Zeit durch einen bestimmten Querschnitt des Schliessungsbogens geht, abhängig ist von der Geschwindigkeit, womit die Ladung der Kette sich wiederherstellt, oder, mit anderen Worten, von dem Leitungswiderstande, der in der Kette selbst herrscht. Je geringer dieser ist, desto kürzer wird die Zeit der Ladung sein.

Die Entladung der galvanischen Kette innerhalb einer gegebenen Zeit besteht also aus einer gewissen Menge von Partialentladungen, und dies führt mit Rücksicht auf den Umstand, dass jede Entladung durch den Schliessungsbogen mit einer neuen Ladung der Kette verbunden ist, zu einer folgerichtigen, den Principien unserer Theorie entsprechenden Interpretation der Ohm'schen Formel.

Bezeichnet e die elektromotorische Kraft, W den Widerstand des Schliessungsbogens und w den der Kette, so hat man für die Stromstärke eines einfachen, geschlossenen galvanischen Elements die bekannte Ohm'sche Formel $s = \frac{e}{W + w}$.

Denkt man sich n solcher Elemente zu einer Batterie (Säule) mit-

einander verbunden, so wächst die elektrische Spannung beider Pole oder die elektromotorische Kraft mit der Anzahl der Elemente und wird also $= n e$ sein. In demselben Verhältniss ist aber auch der Leitungswiderstand gewachsen, da jetzt in jedem der n Elemente ein Widerstand $= w$ zu überwinden ist; folglich ist der Widerstand in allen n Elementen zusammen $= n w$. Die Stromstärke der Batterie lässt sich dann bekanntlich ausdrücken durch die Formel $s' = \frac{n e}{W + n w}$.

Ist nun der Widerstand im Schliessungsbogen sehr gross gegen den Widerstand w in der Kette, so wird die Stromstärke durch Vermehrung der galvanischen Elemente gesteigert, weil dann eine stärkere elektromotorische Kraft nöthig ist, um die Störung des elektrischen Gleichgewichts oder die Entladung der Kette im Schliessungsbogen zu erzwingen.

Wenn dagegen der Widerstand W sehr klein gegen den Widerstand w in der Kette ist, so erscheint $s = \frac{n e}{n w} = \frac{e}{w}$, d. h. in diesem Falle findet keine Vergrösserung der Stromstärke durch Vermehrung der galvanischen Elemente statt. Da nämlich die Menge der Elektrizität, welche in einer gewissen Zeit durch einen bestimmten Querschnitt des Schliessungsbogens geht, nicht allein von der Entladungszeit in diesem letzteren, sondern auch zugleich von der Geschwindigkeit abhängig ist, womit die elektrische Ladung sich in der Kette selbst wieder herstellt, so kann die durch die Anzahl der galvanischen Elemente bedingte elektromotorische Kraft von keiner merklichen Bedeutung für die Stromstärke sein, wenn zur Ladung der Kette eine verhältnissmässig sehr lange Zeit nöthig ist, oder wenn die Geschwindigkeit des Ladungsstromes in der Batterie beträchtlich geringer ist als die des Entladungsstromes im Schliessungsbogen.

Wenn wir die Oberfläche des galvanischen Elements n mal so gross nehmen, ohne sonst etwas zu verändern, so wird dadurch zwar die elektrische Spannung der Pole oder die elektromotorische Kraft nicht vermehrt, wohl aber bekanntlich der Leitungswiderstand in der Kette selbst n mal kleiner, in so fern der Querschnitt der Flüssigkeit, welche das E durchdringt, n mal grösser geworden ist.

Daher müssen wir in der Formel $s = \frac{e}{W + w}$ statt des Widerstandes

w jetzt $\frac{w}{n}$ setzen, wodurch dieselbe übergeht in $s = \frac{e}{W + \frac{w}{n}}$.

Ist nun der Widerstand W im Schliessungsbogen sehr gross im Vergleich zu dem Widerstande w in der Kette, so verhält es sich hier ganz ähnlich wie in dem zuvor betrachteten Falle, wo die Anzahl der galvanischen Elemente bei einem geringen Werthe von W vermehrt wurde; es kann keine Vergrösserung der Stromstärke stattfinden, weil das, was man auf der einen Seite durch Verkürzung der Ladungszeit in der Kette (vermöge des verminderten Leitungswiderstandes) gewinnt, wieder vollständig aufgewogen wird durch Verlängerung der Entladungszeit im Schliessungsbogen. Eine Vergrösserung der Stromstärke kann also hier so wenig wie dort eintreten, wo vermöge der Steigerung der elektromotorischen Kraft (durch Vermehrung der Anzahl galvanischer Elemente) die Entladungszeit im Schliessungsbogen verkürzt, die Ladungszeit in der Kette aber gleich sehr verlängert wird. — Wenn dagegen W , der Widerstand im Schliessungsbogen, sehr klein ist gegen den Widerstand w in der Kette, so wächst die Stromstärke proportional der Oberfläche des elektromotorischen Elementes, und man kann dieselbe durch fortgesetzte Vergrösserung von n oder durch allmälige Verminderung des Widerstandes w so gross machen als man will, indem dadurch die Ladungszeit in der Kette immer mehr gleich kommt der Entladungszeit im Schliessungsbogen, ohne dass doch jemals diese Gleichheit wirklich eintritt.

Wenn eine gewisse Quantität von Material, z. B. von Zink und Kupfer, gegeben ist, so lässt sich dieselbe bekanntlich in verschiedener Weise zur Construction einer Kette verwenden. Man kann nämlich von derselben eine geringe Anzahl von Elementen mit verhältnissmässig grosser Oberfläche oder statt dessen eine grössere Anzahl mit verhältnissmässig kleiner Oberfläche bilden. In jedem gegebenen Falle wird aber das Maximum der Stromstärke erhalten, wenn man die Einrichtung so trifft, dass der Widerstand in der Kette gleich ist dem Widerstande im Schliessungsbogen. Dann ist nämlich die Entladungszeit im Schliessungsbogen gleich der Ladungszeit in der Kette, oder, was dasselbe, die Geschwindigkeit des Entladungsstromes gleich der Geschwindigkeit, welche dem Ladungsstrome der Kette zukommt.

Damit ist aber für die Stromstärke der günstigste Umstand eingetreten, der unter den gegebenen Verhältnissen überhaupt erreicht werden kann, dass nämlich die Entladung in demselben Moment, worin sie im Schliessungsbogen vollzogen, auch vermöge der bereits erneuerten Ladung der Kette wieder hergestellt ist.

So ist die galvanische Kette oder Batterie eine selbstständige Quelle der Elektrizität, durch welche eine gewisse Menge von E in Folge des Gegensatzes der einzelnen Glieder, und so lange die Contactverhältnisse der letzteren keine wesentliche Veränderung erleiden, unaufhörlich von Neuem in Umlauf gesetzt wird, während bei einer Leidner Flasche oder Batterie die entgegengesetzt elektrischen Zustände beider Belegungen in einer verhältnissmässig sehr kurzen Zeit zur Ausgleichung gelangen.

47. Durch die Einwirkung der Wärme auf die Massentheilchen der Materie wird das elektrische Gleichgewicht in dieser unter gewissen Bedingungen gleichfalls aufgehoben, so dass dann, wenn die Materie leitend ist, ein sogenannter thermoelektrischer Strom entsteht. Man bringt die gleichbeschaffenen Drahtenden eines geeigneten Multipliers (Galvanometers) mit den Enden einer Stange aus Antimon in Berührung, und erwärmt die eine Berührungsstelle, während man die andere in ihrer gewöhnlichen Temperatur lässt. Der Multiplier zeigt alsdann einen elektrischen Strom an, der von der erwärmten Stelle durch das Antimon zu der nicht erwärmten Stelle geht und von da durch den Multiplikatordraht sich fortpflanzt. Dieser Strom hat aber bei einem Stabe aus Wismuth unter sonst gleichen Umständen die entgegengesetzte Richtung. Das Wismuth oder Antimon bildet nun hier mit dem Multiplikatordrahte (aus Kupfer) eine sogenannte thermoelektrische Kette, die man immer erhält, wenn man zwei verschiedenartige Metalle so zusammenlötet, dass sie eine geschlossene Kette darstellen, und dann den Löthstellen ungleiche Temperaturen gibt.

Wenn man zwischen die Drahtenden des Galvanometers allmählig verschiedene andere Metalle bringt, so führen die angezeigten Versuche zu einer thermoelektrischen Spannungsreihe, in welcher die einzelnen Metalle so aufeinanderfolgen, dass der elektrische Strom bei der Erwärmung einer Verbindungsstelle je zweier Metalle jedesmal vom voranstehenden zum nachfolgenden geht. Je weiter nun die beiden Metalle, welche man zur Construction einer thermoelektrischen

Kette wählt, in dieser Reihe auseinander liegen, desto stärker wird der elektrische Strom. So geben Antimon und Wismuth, als die Endglieder der genannten Reihe, die wirksamste Kette dieser Art. Sind aber die Metalle nicht rein, so nehmen sie in der Reihe eine andere Stellung ein. Sonst ist die Intensität der Wirkung innerhalb gewisser Grenzen stets der Erhitzung der einen Löthstelle oder der Temperaturdifferenz beider Löthstellen proportional.

Werden nun ungleichartige Metallstäbchen, am besten aus Wismuth und Antimon, abwechselnd in derselben Ordnung aneinander gelöthet, so erhält man eine zusammengesetzte thermoelektrische Kette oder eine sogenannte Thermosäule. Verbindet man die Enden derselben, also das äusserste Wismuth- und das letzte Antimonstäbchen, mit den Drahtenden eines geeigneten Multipliers, so entsteht durch die Erwärmung aller Löthstellen, welche auf der einen Seite liegen, ein elektrischer Strom, dessen Intensität der Anzahl dieser Löthstellen proportional ist. —

Andrews erhielt auch einen elektrischen Strom, als er ein geschmolzenes, die Elektrizität leitendes Salz zwischen zwei ungleich erwärmte Metallplatten brachte. Derselbe ging stets, falls keine chemische Einwirkung im Spiele war, von dem wärmeren Metall durch das Salz zum kälteren. Und auch kaltes und warmes Wasser geben, miteinander in Berührung gebracht, einen elektrischen Strom, welcher vom warmen Wasser zum kalten geht. Seebeck fand aber, dass schon in einem Ringe aus Wismuth oder Antimon allein sofort ein elektrischer Strom zu Tage treten kann, wenn man die eine Hälfte erhitzt und die andere erkaltet; und Sturgeon beobachtete, dass in einem Kegel von Antimon ein Strom von der Basis zur Spitze geht, wenn man die erstere erhitzt, und in entgegengesetzter Richtung, falls man dieselbe erkaltet. Nach Becquerel kann endlich auch in einem einzigen dehnsamen Metall ein elektrischer Strom hervortreten. Wenn man nämlich einen Platindraht zu einer Spirale aufwickelt und die Enden derselben mit den Drahtenden eines sehr empfindlichen Multipliers innigst verbindet, so gibt der letztere die Anzeige eines elektrischen Stromes, sobald der Platindraht auf der einen oder anderen Seite der Spirale erhitzt wird. Werden zwei spiralförmige Platindrähte an die Enden des Multiplikatordrahtes gelöthet, so entsteht gleichfalls ein elektrischer Strom, wenn man einen derselben erhitzt und dann mit dem anderen in Berührung bringt.

Dies geschieht nach Emmet auch bei Drähten aus verschiedenen anderen Metallen, nur hat der Strom bei allen durch die Hitze leicht oxydirbaren Metallen die entgegengesetzte Richtung.

Da man unter der Richtung des elektrischen Stromes bekanntlich immer diejenige Richtung versteht, in welcher der sogenannte positiv elektrische Zustand sich fortpflanzt, so wird natürlich in den bisher angeführten Fällen die negative Elektricität (d. h. in unserem Sinne das Elektricum selbst) auf der entgegengesetzten Seite fortschreiten.

Es scheint nun aus Allem zu folgen, dass es für die Entstehung des thermoelektrischen Stromes von Bedeutung ist, dass die Wärme auf beiden Seiten der erhitzten Stelle nicht gleichmässig fortgepflanzt werde. Und hiermit ist in der That die Bedingung zu einer Störung des elektrischen Gleichgewichts erfüllt. Wenn auf eine gewisse Stelle eines Leiters der Elektricität (z. B. eines homogenen Metalldrahtes) irgend eine Einwirkung stattfindet, die nach beiden Seiten durch die Masse des Leiters gleichmässig fortschreitet, so ist eine Störung des elektrischen Gleichgewichtes nicht zu erwarten, oder es werden die etwa eintretenden Störungen, indem sie nach entgegengesetzten Richtungen in gleichem Masse geschehen, in ihren Wirkungen sich aufheben. Schreitet dagegen eine solche Einwirkung auf die Massentheilchen des Leiters von der betreffenden Stelle aus nicht gleichmässig nach beiden Seiten hin fort, so wird nothwendig eine Verschiebung der elektrischen Sphären, welche um die Massentheilchen im Gleichgewichtszustande vorhanden waren, nach der einen oder anderen Seite hin stattfinden. So lange nun die Ursache dieser Verschiebung (die Erwärmung oder Erkaltung) in derselben Weise wirksam ist, wird auch die Verschiebung selbst, falls der Metalldraht eine in sich geschlossene Kette bildet, in gleicher Weise fort dauern, und dieselbe also in der Form eines elektrischen Stromes auftreten. Die angezeigte Bedingung zur Entstehung eines elektrischen Stromes ist hiernach ohne Weiteres erfüllt, wenn zwei ungleichartige Metalle in der Gestalt einer geschlossenen Kette an der einen Berührungsstelle erwärmt oder erkaltet werden, und ebenso bei einem homogenen Leiter in dem obigen von Becquerel angestellten Versuche, und endlich, wie es scheint, auch da, wo zwei Leiter von derselben materiellen Beschaffenheit, aber ungleich erwärmt, unter den sonst erforderlichen Umständen miteinander in Berührung kommen.

48. Was die elektrischen Zustände der Atmosphäre, abgesehen zunächst von den Erscheinungen des Gewitters, betrifft, so hat sich ergeben, dass gewöhnlich, vorzugsweise aber bei heiterem Wetter, die positive Elektricität in ihr vorherrscht. Die Beobachtungen wurden meist an einem Elektrometer angestellt, das mit einer isolirten, zugespitzten und hinreichend langen Eisenstange in Verbindung stand. Um aber das Elektrometer bei schwacher Luftelektricität noch empfindlicher zu machen, pflegt man auf die Spitze ein Stück brennenden Zunders zu stecken, der eine aufsteigende Rauchsäule bildet. Die positive Elektricität der Atmosphäre ist nun im Winter bei gleicher Heiterkeit des Himmels stärker als im Sommer, und scheint täglich zweimal ein Maximum zu erreichen. Sie wächst langsam mit höher steigender Sonne bis etwa 6 oder 7 Uhr, im Frühling und Herbst bis 8 oder 9, im Winter bis 10 oder 12 Uhr. Alsdann nimmt sie rasch ab und erreicht einige Stunden vor Sonnenuntergang ein Minimum, von wo ab sie wieder steigt, so dass einige Stunden nach dem Untergange der Sonne, beim Fallen des Abendthaues, ein zweites Maximum eintritt. Das Maximum der elektrischen Spannung wird angezeigt, sobald die höheren Luftschichten dunstig geworden sind. Die Nacht hindurch dauert das Sinken fort bis zum Eintritt des Minimum vor Sonnenaufgang. Diese Maxima und Minima werden jedoch nicht selten, wahrscheinlich wohl vermöge secundärer elektrischer Einflüsse, gänzlich verdeckt. Gewiss ist es aber, dass die positive Elektricität der Atmosphäre bei heiterem Wetter, wie Saussure's Beobachtungen zuerst gelehrt haben, mit wachsender Höhe zunimmt. Becquerel beobachtete dies auf dem St. Bernhard an einem empfindlichen Elektrometer, das durch einen langen Goldlahnfaden mit einem Pfeil in Verbindung stand, der mittelst eines Bogens in die Höhe geschossen wurde. Als der Pfeil etwa 3 Fuss über der Erde in horizontaler Richtung hinflog, gab das Elektrometer keinen Ausschlag, zum Beweise, dass die angezeigte Elektricität nicht durch eine Reibung des Pfeils an den Lufttheilchen veranlasst worden war.

Wir haben schon mehrmals hervorgehoben, dass wir uns die Elemente des E in der Form von Sphären um die Massentheilchen der Materie gruppiert denken müssen. Der Unterschied der Isolatoren und Leiter der Elektricität besteht nun hauptsächlich darin, dass die elektrischen Sphären um die Molecüle der erstgenannten Körper mit

grösserer Beharrlichkeit gruppiert sind. Dies gilt auch von den elektrischen Sphären der Lufttheilchen, und zwar um so mehr, je höher man sich in der Atmosphäre erhebt, deren Temperatur bekanntlich von unten nach oben abnimmt. Sonst müssen wir aber, nach dem Princip unserer Theorie, annehmen, dass jeder Körper (als Aggregat verbundener Massentheilchen), falls das Elektricum einmal in demselben angehäuft gewesen ist, noch einen, wenn auch schwachen Rest freien Elektricums zurückhält, weil die Repulsion, um derentwillen das E den Körper verlassen muss, immer schwächer und zuletzt unendlich gering wird, wenn der elektrische Zustand des Körpers dem Gleichgewichte mit seiner Umgebung unendlich nahe kommt. So wird auch der Erdoberfläche eine elektrische Schicht gewissermassen adhären, welche nach oben hin (gegen die elektrischen Sphären der Luft) einen Druck ausübt, der natürlich mit wachsender Höhe abnimmt. Wird nun ein Elektrizitätsleiter, z. B. eine zugespitzte Metallstange, welche sich in Hinsicht auf die unteren Schichten der Atmosphäre im gewöhnlichen Zustande befindet, hoch aufgerichtet, so ist das elektrische Gleichgewicht gestört. Denn in den oberen, kälteren und minder dichten Luftschichten ist das E noch mehr als in den unteren gebunden, so dass die Lufttheilchen dort auch mehr geneigt sind, neues E um sich zu gruppieren. Die Metallstange wird deshalb veranlasst, sich von einem Theil des ihr inwohnenden Elektricums zu befreien. Weil nun dieser Verlust sich fortsetzt bis zum Elektrometer, das mit der Stange in Verbindung ist, so wird es mit positiver Elektrizität divergieren. Dasselbe würde aber auch dann geschehen, wenn das E der Stange bloß eine Verschiebung von unten nach oben hin erlitte, oder wenn nur eine Influenzwirkung zwischen ihr und den positiv elektrischen Luftschichten stattfände. Das Elektrometer zeigt nun eigentlich bloß den Grad des positiv elektrischen Zustandes derjenigen Luftschichten an, in welche die Spitze der Stange zunächst hineinragt. Um mehr Einfluss auf die höher gelegenen Luftschichten zu gewinnen, dient die an der Metallspitze aufsteigende Rauchsäule, oder auch der Wasserdunst, durch welchen zwischen dem Elektrometer und diesen Luftschichten gewissermassen eine leitende Verbindung hergestellt wird. Durch jene Rauchsäule wird jedenfalls die Influenzwirkung zwischen der Metallstange und den höheren Luftschichten gesteigert werden.

Die positive Elektrizität der Atmosphäre ist hiernach ihr

natürlich - elektrischer Zustand, nämlich bezüglich der Erde und der auf ihr befindlichen Körper, die wir in Bezug auf die höheren Luftschichten als negativ elektrisch betrachten können. Die oben erwähnten täglichen Maxima und Minima der Lufterlektricität haben wir aber nicht sowohl als Zeichen einer wirklichen Zu- und Abnahme derselben, sondern vielmehr als Hindeutungen auf solche Zustände der Atmosphäre anzusehen, durch welche ihr an sich wenig veränderlicher positiv elektrischer Zustand mehr oder weniger Einfluss auf unsere Elektricitätsanzeiger gewinnt.

49. Bedarf also dem Vorstehenden zufolge die positive Elektricität der Luft keiner besonderen Quelle, so kann nur noch gefragt werden, woher die in der Atmosphäre sich oft kundgebende negative Elektricität, namentlich auch die der Gewitter stammt. Nach Dellmann's neueren Beobachtungen über die atmosphärische Elektricität ist die Luft bei heiterem Wetter, übereinstimmend mit den bisherigen Erfahrungen, fast immer positiv elektrisch, nur bei Regen, namentlich im Anfange desselben, stark negativ elektrisch. Auch bei Annäherung eines Gewitters erhält man, selbst wenn es noch ziemlich fern ist, so dass die Wolken desselben noch lange nicht über der Beobachtungsstelle schweben, die Anzeige negativer Elektricität. Die Regentropfen selbst sind gleichfalls beim Anfange eines Regens meist negativ elektrisch.

Nach Versuchen von Volta und Saussure hatte man lange Zeit die Meinung, dass die Verdampfung des Wassers die Hauptquelle der atmosphärischen Elektricität sei. Die Wasserdämpfe sollten im Moment ihrer Bildung positive Elektricität annehmen und mit sich fortführen, die Flüssigkeit dagegen im negativ elektrischen Zustande zurückbleiben. Spätere Versuche, namentlich von Armstrong, Faraday, Reich und Riess, haben jedoch dargethan, dass die beim Verdampfungsprocesse vorkommenden Elektricitätserscheinungen ihre Ursache nicht in ihm selbst, sondern vielmehr in der Reibung der vom Dampfe fortgerissenen Wassertheilchen an den Gefäßwänden haben. So ist es auch bei der Hydroelektrisirmaschine, wo die in einem Metallcylinder (Kessel) gebildeten Wasserdämpfe mit Heftigkeit aus engen Röhrchen hervorströmen. Der isolirte Kessel wird dann negativ, während die entweichenden Dämpfe positiv elektrisch erscheinen. Die Ursache dieser entgegengesetzt elektrischen Zustände liegt nun eben in der Reibung der mit dem Dampfe fortgeführten

Wassertheilchen an den Wänden der Ausströmungsröhren. Auch die neuesten Versuche, welche Buff über diesen Gegenstand angestellt hat, führten zu dem Resultate, dass der Verdampfungsprocess an sich von keiner bemerkbaren Elektricitäts-erregung begleitet ist; wohl aber kann der Dampf die Elektricität, welche die Flüssigkeit aus irgend einer anderen Elektricitätsquelle erhalten, annehmen und einem condensirenden Elektroskop mittheilen. Nun weiss man, dass Wasser, wie auch verschiedene andere Flüssigkeiten in Berührung mit Metallen elektrisch erregt werden. Daher können auch die Dämpfe des Wassers, wenn dieses aus einer Metallschale verdampft, die aus dem Contact hervorgegangene Elektricität der Flüssigkeit mit sich fortführen und auf einen Condensator übertragen, wie dies durch die vorerwähnten Versuche von Buff nachgewiesen worden. Bei diesen Versuchen befand sich die zu verdampfende Flüssigkeit in einem Glaskolben, der auf einem Metallgewebe über der Flamme einer Spirituslampe stand. Ein durch eine Glashülle von den aufsteigenden Dämpfen isolirter Metalldraht tauchte in die Flüssigkeit, während ein isolirter Platinstreifen unmittelbar von den aus dem Gefässe tretenden Dämpfen getroffen wurde. Beide Metalle standen gewöhnlich mit den Platten eines Condensators in Verbindung, doch wurde auch das eine oder andere Metall zur Erde abgeleitet. Taucht nun z. B. ein Zinkdraht in Wasser, so wird jener negativ, dieses positiv elektrisch, und wenn man die negative Elektricität des Drahtes gehörig ableitet, so überträgt sich der positiv elektrische Zustand des Wassers vermittelst der Dämpfe auf den Condensator. War der Draht nicht zur Erde abgeleitet, und auch ausser Verbindung mit der einen Condensatorplatte, so nahm der Condensator keine Elektricität durch den Dampf an. Wasser, das aus isolirten Gefässen verdampft, entwickelt hiernach keine bemerkbare Spur von Elektricität. Wurde aber der in das Wasser getauchte Draht, wie auch die entsprechende Condensatorplatte mit dem Finger ableitend berührt, so empfing die andere Condensatorplatte von dem Dampfe stets positive Elektricität, die dem Anscheine nach unabhängig von der materiellen Beschaffenheit dieser Platte ist. Bei ableitender Berührung oder nach gänzlicher Entfernung des Platinstreifens verhielt sich der eingetauchte Metalldraht wieder in der Weise, wie es nach dem elektromotorischen Verhältnisse der Metalle untereinander und zum Wasser erwartet werden konnte.

Der Verdampfungsprocess des Wassers an der Erdoberfläche ist also gewiss nicht die Ursache des positiv elektrischen Zustandes unserer Atmosphäre; dennoch ist es möglich, dass derselbe in gewisser Weise die Quelle der negativen Elektricität ist, welche bei atmosphärischen Niederschlägen nicht selten hervortritt. Sowohl Erfahrung als auch Theorie weisen darauf hin, dass fast alle Formveränderungen der Körper von elektrischen Erscheinungen begleitet sind. Wenn die Elemente des Elektricums um die Massentheilchen der Materie Sphären gebildet haben, so müssen diese letzteren wohl Veränderungen erleiden, wenn die Theilchen eines Körpers bei dessen Formveränderung sich anders gruppiren. Die Erscheinung des Gewitters zeigt aber, dass die Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes mit einer Elektricitätsentwicklung verbunden ist, und schon dies macht es wahrscheinlich, dass auch der Uebergang des Wassers in Dampf von einem elektrischen Vorgange in gewisser Weise begleitet ist. Dabei können aber die Verhältnisse von der Art sein, dass die entgegengesetzt elektrischen Zustände entweder gar nicht oder doch nicht so scharf auseinandertreten, als es zum Behufe der Wahrnehmung mittelst unserer gewöhnlichen Instrumente nöthig ist.

Denken wir uns nun ein kleinstes Massentheilchen der Materie isolirt, d. h. ohne Verbindung mit anderen derselben Art, aber umringt von den Elementen des Elektricums, so werden diese sich vermöge der Anziehung, welche zwischen ihnen und dem Massentheilchen besteht, um das letztere gruppiren und dasselbe sphärenartig einhüllen. Die Anzahl der elektrischen Elemente, welche das Massentheilchen in diesem Falle mit sich vereinigen kann, wird grösser sein, als wenn mehrere solcher Theilchen in Folge gegenseitiger Anziehung zu einem Körper zusammentreten. In letzterem Falle wächst die Repulsion und demgemäss auch die Spannung zwischen den Elementen des Elektricums, während sie dort mit grösserer Freiheit sich um jedes einzelne Massentheilchen gruppiren können. Die Massentheilchen werden im isolirten Zustande nicht allein grössere elektrische Sphären besitzen, sondern es werden auch die letzteren mit grösserer Beharrlichkeit denselben anhängen, so dass selbst mechanische Einwirkungen, wie Reiben, nicht so ohne Weiteres im Stande sein werden, ihnen das Elektricum zu entziehen. Sobald aber diese Massentheilchen einander bis zur Berührung nahe kommen und nun durch gegenseitige Einwirkung zu einem materiellen Ganzen zusam-

mentreten, gerathen die elektrischen Sphären gegen einander in Spannung, und weil jetzt zwischen ihren Elementen eine stärkere Repulsion besteht, so werden die letzteren sich auch leichter, z. B. beim Reiben, anderen Körpern mittheilen können. So hätten wir denn hiernach beim Uebergange von Dämpfen in die tropfbarflüssige und starre Form im Allgemeinen eine Elektrizitätsentwicklung zu erwarten, und es gehören hierher vielleicht die Lichterscheinungen, welche man beim Krystallisiren einiger Salze, so wie bei Krystallisationen auf trockenem Wege wahrgenommen hat, und vielleicht auch die zuerst von Pontus gemachte und von Julia-Fontenelle bestätigte Beobachtung, dass, wenn man Wasser in einem Kölbchen mit 1 bis 2 Centimeter langem Halse, das äusserlich allenthalben mit Baumwolle bekleidet und mit Aether benetzt ist, unter der Luftpumpe durch schnelles Evacuiren zum Gefrieren bringt, allemal einige Augenblicke vor dem Erstarren ein, selbst bei hellem Tage deutlich sichtbarer Funke aus dem Halse des Kölbchens springt.

Bei der Verdunstung des Wassers, welches die Erde bedeckt, werden nun durch Einwirkung der Wärme die kleinsten Massentheilchen des Wassers von einander getrennt, und weil letzteres mit der Erde selbst in leitender Berührung ist, so wird dem Elektricum Gelegenheit gegeben, grössere Sphären um die Wassermolecüle zu bilden, als demselben während ihrer Verbindung untereinander möglich war. In die Atmosphäre aufsteigend verbreiten sich die isolirten Wassermolecüle gleichmässig, ohne dass sie eine merkliche Spur von Elektrizität verrathen können, da das E in ihnen gebunden ist; verdichten sie sich aber irgendwie zu Dunstbläschen, so muss ein Theil von dem Elektricum der Sphären frei werden. Man erkennt nun leicht, dass die Schnelligkeit des Ueberganges in die tropfbar flüssige Form von Bedeutung sein muss in Hinsicht auf die Menge der momentan hervortretenden Elektrizität. Geschieht der Uebergang sehr allmählig, so wird das Elektricum eben so allmählig frei, und die jeden Augenblick hervortretende Menge kann so gering sein, dass sie sich der Wahrnehmung völlig entzieht. Der positiv elektrische Gesamtzustand der Atmosphäre wird dadurch nicht beeinträchtigt werden; vielmehr müssen die höher gelegenen positiv elektrischen Luftschichten, weil der entstandene Dunst eine Art leitender Gemeinschaft zwischen ihnen und der negativ elektrischen Erde stiftet, einen grösseren Einfluss auf die letztere gewinnen. Das auf der Oberfläche

der Dunstbläschen etwa vorhandene freie E wird aber seinen Druck vorzugsweise nach oben, den genannten Luftschichten zuwenden, und wenn es sich durch Mittheilung an diese allmählig zerstreuet, so setzt sich dieser Verlust fort bis zur Erdoberfläche oder dem Elektroskop, das mit der Atmosphäre communicirt. Wenn dagegen eine plötzliche und energische Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes stattfindet, wie etwa beim Gewitter durch das Eindringen eines kalten Windes in warme mit Wasserdampf gesättigte Luft, so wird eine ebenso heftige Repulsion zwischen den elektrischen Sphären der Wassermolecüle eintreten, besonders dann, wenn die Molecüle nun in unmittelbarer Berührung miteinander zur Tropfenbildung veranlasst werden. Je rascher und energischer aber die Condensation des atmosphärischen Wasserdampfes von Statten geht, desto grösser wird natürlich die Menge des frei werdenden E sein. Eine so entstandene Gewitterwolke ist nun allemal negativ elektrisirt, in so fern das E selbst auf ihrer Oberfläche wirklich angehäuft ist. Da aber dieselbe auf andere, entfernte Wolkenschichten, die sich, weil sie minder energisch entstanden, mehr im gewöhnlichen Zustande befinden, vertheilend wirken kann, so ist es möglich, dass während eines Gewitters bald negative, bald positive Elektricität angezeigt wird. Eine Gewitterwolke wirkt nun auf eine Wolke der letzt bezeichneten Art vertheilend, indem der elektrische Druck, welcher von ihr ausgeht, durch die zwischenliegenden Luftschichten sich fortpflanzt und das E der zweiten Wolke von der zugekehrten Seite nach der abgewendeten treibt. Das E der ersten Wolke wird dann, sobald es das Maximum der Spannung erreicht, als elektrischer Funke die Luft durchbrechen, um in den leeren Raum einzudringen, den es sich selbst im zugekehrten Theil der zweiten Wolke geschaffen hat. Ist aber die Entfernung beider Wolken sehr bedeutend, so ist nicht wahrscheinlich, dass das in der ersten Wolke angesammelte E wirklich in die zweite gelangt, vielmehr wird dasselbe in einer gewissen Entfernung von dieser Wolke eine Anhäufung des Elektricums in den zwischenliegenden Luftschichten hervorbringen. Von hier aus kann denn wieder, in einer bestimmten Distanz, eine neue Verdichtung des E bewirkt werden, und so in abnehmendem Grade fort bis zur anderen Wolke. Bricht nun der Blitz aus der eigentlichen Gewitterwolke hervor, so springen zugleich elektrische Funken zwischen beiden Wolken aus allen jenen Stellen über, in denen eine Anhäufung des E stattfindet. Hieraus erklärt

sich die Länge des Blitzes, welche mitunter eine Meile und darüber betragen soll. Schwebt nun eine solche Gewitterwolke über Gegenständen, die mit der Erde in Verbindung stehen, so wird sie auch auf diese vertheilend wirken, indem sie vermöge des elektrischen Druckes, der von ihr ausgeht, das diesen Körpern inwohnende E zurücktreibt, um ihr eigenes E in den dadurch bewirkten freien Raum zu senden. Ob dieses letztere aber wirklich geschieht, hängt nicht allein von der Entfernung der Wolke, sondern auch von der Beschaffenheit des Gegenstandes ab, in welchem die Vertheilung des E vor sich geht. Ist derselbe ein Leiter der Elektrizität, so kann natürlich das in diesem vorhandene E viel leichter nach der entgegengesetzten Seite in den Boden getrieben werden, wodurch denn auch der Uebergang von E aus der Gewitterwolke in den Gegenstand begünstigt wird. Wenn aber die Wolke, welche das einem solchen Körper eigenthümliche E zurückgedrängt hat, nach einer anderen Seite hin zur Entladung gelangt, so fällt ihr Einfluss auf diesen Gegenstand fort. Das in die Erde zurückgetriebene E des letzteren muss nun mit Gewalt wieder in demselben hervortreten, und in die gewöhnliche Gleichgewichtslage zurückkehren. Es findet dann das statt, was man einen R ü c k s c h l a g (S. 60) nennt.

50. Nachdem wir so das Gebiet der elektrischen Fundamentalerscheinungen durchwandert und dasselbe unter der Voraussetzung eines, und zwar eines einzigen elektrischen Fluidums beleuchtet haben, erinnern wir schliesslich noch an zwei andere hierher gehörige Erklärungsweisen. Nach der dualistischen Hypothese, welche von R. Symmer begründet worden, soll es zwei entgegengesetzte elektrische Flüssigkeiten geben, die sich unter einander gleich stark anziehen, während die Theilchen einer jeden sich gegenseitig gleich stark abstossen. Ein Körper ist hiernach in seinem natürlichen Zustande, wenn er von einer jeden dieser Flüssigkeiten gleich viel besitzt. Beide bilden dann ein neutrales Product, das durch $\pm$ dargestellt werden kann, wenn man die eine Flüssigkeit durch $+$ und die andere durch $-$ bezeichnet. Doch braucht man, wie Munk auf Rosenschöld*) bemerkt, nicht anzunehmen, dass beide Elektrizitäten etwa durch eine Art von chemischer Verwandtschaft eine

*) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 44.

Verbindung eingehen, durch welche ihre anziehenden und abstossenden Wirkungen aufgehoben werden. Man brauche sich nur vorzustellen, dass die Verbreitung beider im Innern eines Körpers dieselbe sei; dann würden die Wirkungen der positiven Elektricität auf einen innerhalb oder ausserhalb des Körpers befindlichen Punkt genau aufgehoben durch die Wirkungen der negativen Elektricität auf denselben Punkt, der sich also als ganz frei ansehen lasse. Ist nun ein Körper mit der einen oder anderen Flüssigkeit vorzugsweise behaftet, so ist er positiv oder negativ elektrisirt, und wird dann das elektrische Gleichgewicht in einem benachbarten Leiter aufheben, indem die auf seiner Oberfläche freie Elektricität die gleichartige des Leiters zurückstösst, die ungleichartige dagegen anzieht. So erkläre sich das Gesetz der elektrischen Vertheilung (Influenz). Wenn man aber zwei Körper aneinander reibt, so soll die Verbindung beider Elektricitäten oder das zwischen ihnen bestehende Gleichgewicht in der Art aufgehoben werden, dass die eine Elektricität vorzugsweise in dem reibenden, die andere in dem geriebenen Körper auftritt. Wie diese Trennung bewirkt wird, lässt die Hypothese unerklärt. Manche nehmen freilich eine Anziehung der Materie zu Hilfe, indem sie sagen, dass die Anziehung zwischen dem Körper und der betreffenden Flüssigkeit grösser sei als die Anziehung beider Flüssigkeiten untereinander. In dieser Anziehung allein kann aber, unter Voraussetzung zweier elektrischer Flüssigkeiten, die Ursache der Elektricitätsentwicklung beim Reiben oder auch beim blossen Contact ungleichartiger Körper nicht liegen, weil dann auch schon vorher eine Trennung beider Flüssigkeiten im Körper stattfinden müsste. Inwiefern das Reiben selbst Ursache der Trennung sein kann, wird nicht angedeutet. Andere sind wieder der Meinung, dass zwischen diesen Flüssigkeiten und der Materie gar keine Anziehung bestehe. Dies möchte jedoch nicht so ernstlich gemeint sein, namentlich wenn man auf den Unterschied der Leiter und Isolatoren und namentlich auch auf die elektrochemischen Erscheinungen reflectirt.

Die Ansicht von einem einzigen elektrischen Fluidum wird der dualistischen Hypothese wohl vorzuziehen sein, wenn es derselben gelingen sollte, die mannigfachen Erscheinungen der Elektricität in einen durchgreifenden wissenschaftlichen Zusammenhang zu bringen oder sie auf einen gemeinsamen Gesichtspunkt zurückzuführen. Die Franklin'sche Theorie konnte freilich in ihrer bisherigen Gestalt

nicht genügen, es kam darauf an, sie merklich weiter auszuführen und zum Theil auch umzubilden. Die Grundzüge dieser erweiterten Theorie sind in diesem Kapitel bereits dargelegt worden. Das Uebrige wird aber in den folgenden Kapiteln gehörigen Orts seine Stelle finden.

Nach der dualistischen Hypothese gibt es zwei elektrische Ströme, welche sich im Schliessungsbogen einer galvanischen Kette in entgegengesetzten Richtungen begegnen. Nach unserer Theorie existirt dagegen nur ein Strom, in so fern das Elektricum sich, nach den bereits erörterten Gesetzen, innerhalb der Kette stets in einer und derselben Richtung bewegt, welche durch das elektromotorische Verhältniss der verschiedenen Kettenglieder bedingt ist. Wohl aber können auch wir von zwei verschiedenartigen elektrischen Zuständen sprechen, die im Schliessungsbogen der Kette nach entgegengesetzten Richtungen fortschreiten. Denn der positive Pol nimmt Elektricum aus dem Schliessungsbogen auf, und der hierdurch in diesem veranlasste Verlust an E pflanzt sich von dem eben genannten Pol aus nach der Mitte des Schliessungsbogens hin fort, während dem letzteren vom negativen Pol Elektricum (in entgegengesetzter Richtung) mitgetheilt wird. Da wir nun den insgesamt durch — bezeichneten Zustand als denjenigen anzusehen haben, worin ein Körper mehr E als im gewöhnlichen Zustande enthält, so könnten wir diesen Zustand passend den positiv elektrischen nennen. Doch mag es räthlich erscheinen, die gewöhnliche Bezeichnungsweise der entgegengesetzt elektrischen Zustände durch $+$ und $-$ beizubehalten, und wir können dies um so mehr thun, da es hinreichend klar sein wird, welche Bedeutung derselben im Sinne unserer Theorie zukommt.

Es gibt nun noch eine dritte Ansicht, welche mit der Annahme von einem besonderen Fluidum, sei dasselbe nun gleichartig in sich oder zusammengesetzt aus zwei entgegengesetzten Bestandtheilen, den stärksten Gegensatz bildet. Diese Ansicht besteht in dem Versuche, die elektrischen Erscheinungen, ohne Annahme einer besonderen substantiellen Grundlage, auf eine blosse Thätigkeit oder einen gewissen polaren Zustand der ponderablen Materie zurückzuführen, ein Zustand, welcher sich, sobald er in einem Theilchen hervorgetreten, auf die benachbarten fortpflanzt. Alle elektrischen Erscheinungen

sind hiernach bedingt durch die Wirkung angrenzender Körpertheilchen. Wir werden diese Ansicht, welche namentlich Faraday näher charakterisirt hat, im nächsten Kapitel zum Gegenstande einer eingehenden Betrachtung machen. Es wird sich dann zeigen, dass dieselbe im physikalischen Gebiete bedeutsam ist, aber nicht da, wo sie zunächst eine Rolle zu spielen bestimmt war.

~~Wirkungen des elektrischen Stroms~~

Drittes Kapitel.

Wirkungen des elektrischen Stromes.

51. Wir haben schon im vorigen Kapitel bezüglich der mechanischen Wirkung des Entladungsstromes einer Leidner Flasche oder Batterie den besonderen Fall betrachtet, wo die Entladung durch einen schlechten Leiter hindurchgeht, der irgendwo im Schliessungsbogen eingeschaltet ist. Die Wirkungen der Entladung auf gute Leiter sind nun namentlich von Riess in ihrer Aueinanderfolge genauer untersucht worden. Die erste mechanische Wirkung, welche ein im Schliessungsbogen angebrachter dünner Draht erfährt, ist eine bemerkbare Erschütterung desselben und ein Losreissen von Metalltheilchen an seiner Oberfläche, die sich in Gestalt eines dichten genauen Dampfes erheben. Durch fortgesetzte Steigerung der Ladung entsteht eine bleibende Veränderung am Drahte, welcher bei einer bestimmten Entladung eine Menge von Einbiegungen und dadurch ein geripptes, wellenförmiges Ansehen erhält. Steigert man aber die Entladung, durch welche ein Draht die ersten Einbiegungen bekommt, so geräth er in's Glühen, das ebenso wie seine Erwärmung abhängig ist von dem Producte der angewendeten Elektrizitätsmenge in ihre Dichte. Dieses Glühen schreitet vorzugsweise von der positiven Seite zur negativen fort. Wird die Stärke der Entladung noch mehr gesteigert, so tritt Weissglühen ein, und bei noch stärkeren Entladungen werden die Drähte von ihren Befestigungen losgerissen. Der Anblick der zerstückten Drähte lehrt dann, dass hier wirklich eine Zerreißung, keine Schmelzung geschehen ist. Setzt man aber Drähte einer stärkeren Entladung aus als der zu ihrer Zerreißung nöthigen, so werden sie unter Lichter-

scheinung in eine Menge kleiner Stückchen zersplittert, die weit umhergeworfen werden. An den aufgesammelten Stücken lässt sich erkennen, dass eine Schmelzung hier nur secundär stattfindet. Durch fortwährend gesteigerte Entladung schmelzen endlich die kleinen Splitter an der Oberfläche und an den Enden und fliessen zuletzt in Kügelchen zusammen. Bei den leichter oxydirbaren Metallen wird die Temperatur erhöht durch die Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft und es tritt also zu der elektrischen Erhitzung noch eine chemische hinzu. Am auffallendsten zeigt sich dies bei dem Eisen, das oft bei Entladungen schmilzt, die an und für sich nur ein mässiges Glühen erzeugt haben würden.

Die mechanischen Wirkungen eines galvanischen Stromes von sehr beträchtlicher Intensität kommen wohl im Ganzen mit denen eines Stromes, wie ihn die sogenannte Maschinenelektricität liefert, überein. Dass aber selbst verhältnissmässig schwache galvanische Ströme bleibende Veränderungen in dem Molecularzustande der Leitungsdrähte bewirken können, bekunden die Wahrnehmungen des Herzogs M. zu Leuchtenberg bei den grossartigen galvanoplastischen Vergoldungen für die Isaaskirche in Petersburg; und ähnliches hat Peltier schon früher beobachtet, dass nämlich die Schliessungsdrähte einer galvanischen Kette, auch wenn sie gegen äussere Einflüsse geschützt sind, durch die Einwirkung eines andauernden Stromes nach einer gewissen Zeit spröde und brüchig werden. Werthheim fand endlich, dass ein elektrischer Strom eine vorübergehende Schwächung des Elasticitäts-Coefficienten von Leitern bewirkt.

52. Hat man eine Säule, die aus einer grossen Anzahl von Plattenpaaren besteht, so erscheint beim Oeffnen derselben ein sehr lebhafter Funke. Man kann den Schliessungsdraht an den einen Pol anlöthen oder sonst mit demselben in eine innige metallische Berührung bringen und dann das andere Ende mit dem entgegengesetzten Pol berühren. In dem Augenblick, wo die Berührung aufgehoben wird, erscheint ein deutlich wahrnehmbarer Funke. Auch bei kleineren Ketten erhält man bekanntlich schon Funken, wenn man nur den Uebergang der Elektricität gehörig erleichtert. Zu diesem Behufe macht man in die Kupferplatte des einen Pols eine Vertiefung, die man mit etwas salpetersaurem Quecksilber amalgamirt und dann mit einem oder mehreren Tropfen Quecksilber ausfüllt. Taucht man dann in das letztere einen Kupfer- oder Platindraht, der an dem

anderen Pol angelöthet ist, so wird die Kette geschlossen. Zieht man aber den Draht aus dem Quecksilber heraus, so wird die Kette wieder geöffnet, und es erscheint ein Funke. Anstatt nun mit dem von dem einen Pol ausgehenden Drahte den anderen Pol zu berühren, kann man auch mit dem letzteren einen Draht verbinden, und die Schliessung durch beide Poldrähte bewerkstelligen, indem man diese mit den freien Enden in genaue metallische Berührung bringt. Auch so erscheinen beim abwechselnden Schliessen und Oeffnen der Kette Funken.

Eine sehr glänzende Lichterscheinung lässt sich bekanntlich hervorbringen, wenn man an die Poldrähte Kohlenspitzen befestigt und die letzteren miteinander berührt. Es erscheint dann im Berührungspunkte ein sehr intensives Licht. Werden nun die glühenden Kohlenspitzen allmählig von einander entfernt, so gehen glühende Kohlentheilchen von der einen Spitze zur anderen über und bilden einen ungemein glänzenden Lichtbogen. Ein solcher Lichtbogen, wie er sich durch eine grössere Batterie, von etwa 40 bis 50 Zinkkohlen-Elementen, erhalten lässt, hat meist eine cylindrische oder ellipsoide Gestalt, dessen grösste Dicke in der Mitte ist und dessen obere Seite durch die Bewegung der erhitzten Luft eine convexe Biegung annimmt. Die glühenden Kohlentheilchen, durch die er gebildet wird und die ihm seinen Glanz hauptsächlich verleihen, werden zwar von beiden Polen nach allen Richtungen fortgestossen, doch geschieht die Ueberführung dieser Theilchen, wie es scheint, vorzugsweise von dem positiven nach dem negativen Pol hin, so dass nicht selten auf der Spitze, welche jenen Pol bildet, eine Vertiefung, auf der anderen aber eine Erhabenheit wahrzunehmen ist. Der Lichtbogen kann indessen, wie man weiss, auch ohne vorhergehende Berührung der beiden einander nahe befindlichen Spitzen erzeugt werden, wenn man den Schlag einer Leidner Flasche zwischen denselben überspringen lässt. Durch diese Entladung werden materielle Theilchen losgerissen und die galvanische Kette durch dieselben geschlossen. Der galvanische Strom beginnt und mit ihm jene Fortführung der Theilchen. Sonst verhält sich dieser Flammenbogen, wie Casselmann's Versuche dargethan, in Hinsicht auf den Widerstand, den der Strom in ihm findet, wie auch in anderer Beziehung gerade so wie jeder andere feste Leiter der galvanischen Elektricität.

Der Lichtbogen zeigt sich auch zwischen zwei Metallspitzen und

selbst zwischen einer Metallspitze und einer Metallplatte; doch ist die Kohle wegen ihrer zerreiblichen Eigenschaft vorzugsweise geeignet, einen langen Bogen zu liefern. Spitzen und Platten von Eisen, Silber, Kupfer, Argentan geben im Allgemeinen dieselben Resultate. Silber- und Kupferplatten zeigen als positive Elektroden, bei hinreichend starker Batterie, sehr entschiedene Vertiefungen, veranlasst durch den Uebergang von Substanz vom positiven zum negativen Pol. Sind beide Spitzen von gleichem Metall, von Platin oder Silber, so wird nur die positive ihrer ganzen Länge nach glühend. Ist die Silberspitze positiv und die (die Wärme schlechter leitende) Platinspitze negativ, so wird die letztere glühend und die erstere viel weniger erhitzt. Im Allgemeinen kann man es aber als feststehend betrachten, dass wenn die Leiter zu beiden Seiten des Schliessungsbogens von gleichem Material sind oder in ihrer Leitungsfähigkeit nur ein kleiner Unterschied besteht, dann die Wärmeentwicklung nicht gleichförmig, sondern viel grösser an der positiven als an der negativen Seite ist.

Die Wärmeerregung, welche während der Thätigkeit des elektrischen Stromes in der Kette stattfindet, erzeugt zwischen den Polen grösserer Batterien bekanntlich eine solche Hitze, dass dadurch selbst die strengflüssigsten Metalle geschmolzen werden können, wenn man nämlich die Poldrähte so damit in Verbindung bringt, dass der Strom durch das zu schmelzende Metall seinen Weg nehmen muss. Zu den gewöhnlichen galvanischen Glühversuchen werden schlechtere Wärmeleiter, namentlich Platin- und Eisendrähte, genommen, die man mit den wohl gereinigten Enden der Poldrähte entweder vermittelt Schraubenklemmen oder durch öfteres Umwickeln in leitende Gemeinschaft setzt. Sind diese Drahtstücke, durch welche die Kette geschlossen wird, hinreichend kurz und dünn, so gerathen dieselben sehr bald ins Glühen, wenn man auch nur etwa 3 — 4 Zinkkohlenelemente zu einer Kette miteinander verbunden hat. Mit einer grösseren Anzahl solcher Elemente (30 bis 40) lässt sich aber auch ein Eisendraht von 2 und mehr Fuss Länge fast momentan zum Weissglühen bringen, so dass er alsbald in eine zahllose Menge glänzender Kügelchen zerfällt. Dünne Gold- und Silber- oder auch Stanniolblättchen werden ganz verflüchtigt. — Durch messende Versuche hat sich nun ergeben, dass die von dem Schliessungsdrahte einer Kette entwickelte Wärmemenge in gleichem Verhältniss mit dem

Widerstande wächst, welchen er dem Strome entgegensetzt, und dass sie dem Quadrate der Stromstärke proportional ist.

Der Volta'sche Lichtbogen ist gewiss keine primäre elektrische Lichterscheinung, sondern offenbar eine durch die Wärme vermittelte, da derselbe von glühenden Kohlen- oder Metalltheilchen hervorgebracht wird. Das primäre elektrische Licht, wovon bereits die Rede gewesen ist, erscheint, als unabhängig von einem Glühen oder einer Verbrennung der Massentheilchen, unter geeigneten Umständen stets auf der negativen Seite, indem das Elektricum hier hervorbricht, um nach der positiven Seite überzugehen. Moigno erzählt*), dass er die Entstehung des Lichts am negativen Pol in grossem Massstabe gesehen habe. Man brachte in ein Vacuum zwei Platinkugeln als Pole eines Inductionsstromes, der mittelst eines Masson'schen Rades erregt worden. Die negative Kugel war leuchtend und relativ kalt, die positive dunkel und relativ warm. Und unter anderen Umständen, als der elektrische Strom zwischen Kohlenstücken überging, zeigte sich bei jedem neuen Contact der letzteren das ursprünglich weisse Licht auf der Kohle am negativen Pol. Allein bald nach Wiederherstellung des Stromes begann die Verbrennung am positiven Pol. Die an diesem Pole befindliche Kohle höhlt sich dann aus, unter Aussendung eines weit glänzenderen Lichtes als das vom negativen Pol. Dass aber die Wärmeentwicklung vorzugsweise von der positiven Seite her stattfindet, ist bereits hervorgehoben. Man kann dies bekanntlich leicht gewahr werden, wenn man nach de la Rive zwei in scharfe Spitzen auslaufende Eisencylinder mit den Poldrähten einer galvanischen Batterie gehörig verbindet und dieselben dann durch die Finger beider Hände miteinander in Berührung bringt. Das mit dem negativen Pol verbundene Eisen fühlt sich noch ziemlich kalt an, während das andere (positive) schon sehr heiss ist.

Wenn jedoch die Entladung der Kette durch ein anderes Medium, z. B. durch eine zwischen den Polen eingeschaltete Flüssigkeit vermittelt ist, so wird unter gewissen Umständen an beiden Elektroden, wenn auch nicht an beiden mit gleicher Leichtigkeit, eine Lichterscheinung hervortreten. Die negative Elektrode ist dann selbstleuchtend, in so fern das Elektricum aus ihr in die Flüssigkeit eindringt, während das an der positiven Elektrode erscheinende Licht

*) Compt. rend. T. XXX. p. 359; Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 318.

der Flüssigkeit angehört, welche ihr eigenes E dieser Elektrode mittheilt. Hierher scheint das Leuchten der Platinelektroden zu gehören, welches Quet*) bei der Zersetzung eines durch Schwefelsäure oder Kali gut leitend gemachten Wassers durch einen galvanischen Strom von starker Intensität beobachtete.

53. Wenn man die beiden Poldrähte einer galvanischen Säule in Wasser oder verdünnte Schwefelsäure taucht, so sieht man an den Drahtenden die Bestandtheile des Wassers in der Form von Gasblasen aufsteigen. Die genauere Untersuchung zeigt aber, dass der Sauerstoff an dem mit dem positiven Pol, der Wasserstoff hingegen an dem mit dem negativen Pol verbundenen Drahte frei wird, falls nämlich beide Drähte aus einem nicht leicht oxydirbaren Metall, z. B. aus Platin bestehen. Eine ähnliche Zerlegung in ihre ungleichartigen Bestandtheile erleiden auch die meisten anderen chemisch zusammengesetzten Flüssigkeiten, wenn sie Leiter der Elektrizität sind. Auf der Seite des positiven Pols wird der eine, auf der Seite des negativen der andere Bestandtheil frei. Hinsichtlich der Leichtigkeit jedoch, womit verschiedene Flüssigkeiten von dem elektrischen Strome zerlegt werden, zeigen sich nicht unbeträchtliche Unterschiede. Reines Wasser erfordert den Strom einer starken galvanischen Kette, während Jodkalium, das in Wasser aufgelöst ist, schon durch ein einfaches, nicht eben starkes galvanisches Element eine Zerlegung erfährt. Leichter als reines Wasser ist verdünnte Schwefelsäure zersetzbar. In beiden Fällen werden aber Sauer- und Wasserstoff in dem Verhältniss ausgeschieden, in welchem sie sich zu Wasser verbinden, so dass sie also, aufs Neue miteinander verbunden, wieder Wasser geben. Wenn Oxyde durch den elektrischen Strom zerlegt werden, so erscheint der Sauerstoff wieder am positiven Pol, der andere Bestandtheil am negativen, und auch bei der Zerlegung der Chlor-, Jod- und Brommetalle erscheint das Metall am letztgenannten Pol, Chlor, Jod und Brom dagegen am positiven.

Salze, wie schwefelsaures Kali und Natron oder schwefelsaure Magnesia werden durch den galvanischen Strom in der Weise zerlegt, dass die Säure am positiven Pol, die Basis am negativen auftritt. Zur Anstellung hierher gehöriger Versuche benutzt man bekanntlich auch eine doppelschenkligte Glasröhre, in welche man die durch

*) Compt. rend. T. XXXVI. p. 1012.

Cornelius, E. & M.

Lakmustinctur violett oder durch Veilchensyrup blau gefärbte Salzlösung füllt. Taucht man nun in den einen Schenkel den positiven, in den anderen den negativen Poldraht, so wird die Flüssigkeit in der Nähe des ersteren, wo die Säure erscheint, roth, am negativen Draht aber grün gefärbt. Giesst man eine Salzlösung, z. B. eine Lösung von Glaubersalz, in zwei nebeneinander stehende Gefässe, welche durch ein feuchtes Asbestgewebe oder einen capillaren Docht oder auch durch eine mit der Flüssigkeit gefüllte, gebogene Röhre verbunden sind, und taucht man in das eine Gefäss den positiven, in den anderen den negativen Poldraht, so erscheint die Säure nach einiger Zeit in dem Gefässe, worin sich der positive Poldraht befindet, die Basis im anderen. Die Zersetzung geschieht natürlich in diesem Falle ganz so wie im vorhergehenden, wo die Flüssigkeit in demselben Gefässe zwischen den Poldrähten eingeschaltet ist. Man kann statt zwei auch drei Gefässe a, b, c mit der Salzlösung füllen und durch feuchtes Asbestgewebe oder sonst wie durch die Flüssigkeit selbst eine Communication zwischen denselben herstellen. Taucht man dann den positiven Poldraht in das Gefäss a, den anderen in c, so sammelt sich in jenem die Säure, in diesem die Basis. In dem mittleren Gefässe gibt sich aber während der Thätigkeit des Stromes weder freie Säure, noch freie Basis zu erkennen. Davy setzte die mittlere von drei Porcellanschalen durch mit feuchtem Thon angefüllte Glasröhren mit den äusseren in Verbindung, und brachte in dieselbe eine Ammoniakauflösung. Von den äusseren Schalen wurde die eine mit Wasser, die andere mit einer Lösung von Glaubersalz (schwefelsaurem Natron) gefüllt, und dann in jene der positive, in diese der negative Poldraht eingeführt. Die Säure erschien wieder am positiven Pol, ohne dass das Ammoniak eine Veränderung erlitten hätte. Man könnte nun annehmen, dass die Säure, durch den Strom aus dem Salze ausgeschieden, ihren Weg durch die Ammoniaklösung zum positiven Pole hin genommen habe, ohne sich dabei mit dem Ammoniak, das doch eine starke Affinität zu ihr hat, zu verbinden. Es ist jedoch wahrscheinlich, dass ein Theil der Salzlösung in die anderen Gefässe übergetreten ist, so dass dieselbe zwischen beiden Drähten ein zusammenhängendes Ganze bildete. Faraday fand auch wirklich nach einiger Zeit noch unzersetztes Salz in den Gefässen. Füllt man die äusseren Gefässe mit der Salzlösung, das mittlere Gefäss mit Barytwasser, so wird hier unlöslicher schwefelsaurer Baryt ge-

fällt, wenn die Verbindung der Gefässe durch feuchten Asbest oder dergleichen vermittelt ist. Wenn man alle drei Gefässe mit derselben Salzlösung füllt, ihre Verbindung aber nicht in der bisherigen Weise durch die Flüssigkeit selbst, sondern durch Metalldrähte bewerkstelligt, so erscheint nun nicht mehr in dem einen der äusseren Gefässe bloss die Säure und in dem anderen nur die Basis, man bemerkt vielmehr beide Bestandtheile in jedem Gefässe, aber doch immer so, dass die Säure auf der Seite des positiven, die Basis dagegen auf der Seite des negativen Pols hervortritt.

Wenn Auflösungen von Alkalien und alkalischen Salzen, z. B. von schwefelsaurem Kali oder Natron, zerlegt werden, so erscheinen ausser der Säure und Basis auch noch die Bestandtheile des Wassers in Gasform an den entsprechenden Polen, und zwar der Sauerstoff am positiven, der Wasserstoff am negativen Pol. Bei anderen Salzen, z. B. bei einer Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd (Kupfervitriol) wird am negativen Pol nicht die Basis, sondern das Metall selbst, also hier das Kupfer ausgeschieden. Dasselbe findet bei einer Auflösung von Zinkvitriol statt.

Bei der Zerlegung chemischer Verbindungen durch den elektrischen Strom erscheinen auch häufig Producte, die nicht unmittelbare Wirkungen desselben sind. Man pflegt daher die directen oder primären Zerlegungen von den indirecten oder secundären wohl zu unterscheiden. So werden z. B. reines Wasser und Salzsäure (Chlorwasserstoff) direct durch den elektrischen Strom zerlegt, indem der Wasserstoff am negativen, der Sauerstoff oder das Chlor am positiven Pol hervortritt. Bei einer wässrigen Jodkaliumlösung erscheint Jod am positiven, Wasserstoff am negativen Pol, und zwar der letztere Stoff durch einen secundären Process, indem hier das durch den Strom direct ausgeschiedene Kalium sich mit dem Sauerstoff des Wassers zu Kali verbindet, wobei natürlich Wasserstoff frei wird. So ist es auch höchst wahrscheinlich, dass bei wässrigen Lösungen von schwefelsauren Alkalien das Alkalimetall durch den Strom direct am negativen Pol ausgeschieden wird, wo es sich dann auf Kosten des Wassers wieder oxydirt und dadurch eine Entwicklung von Wasserstoffgas veranlasst. In anderen Fällen scheint aber das Wasser eine primäre Zerlegung zu erfahren. Bei einer Ammoniaklösung z. B. vereinigt sich unter Umständen der Sauerstoff des direct zersetzten Wassers am positiven Pol mit dem Wasserstoff des Ammoniaks, was hier indirect die Entwicke-

lung von Stickstoffgas zur Folge hat. So nimmt man auch an, dass bei der Salpetersäure zunächst das mit ihr verbundene Wasser zerlegt werde, und dass dann der am negativen Pol ausgeschiedene Wasserstoff die Salpetersäure zersetze, indem er derselben einen Theil ihres Sauerstoffes zur Wasserbildung entziehe, und dadurch zur Entwicklung von salpetriger Säure Veranlassung gebe. Man nennt nun zusammengesetzte Stoffe, welche durch den elektrischen Strom direct zerlegt werden, nach dem Vorschlage Faraday's „Elektrolyte“ und den Vorgang der Zerlegung selbst „Elektrolyse.“

Bezieht man die beiden ungleichartigen Bestandtheile eines chemisch zusammengesetzten und durch den Strom zerlegbaren Körpers auf ihre Stellung in der Spannungsreihe, so lässt sich der eine Bestandtheil als positiv, der andere als negativ elektrisch betrachten. So ist im Wasser der Sauerstoff, in der Salzsäure das Chlor der elektro-negative, der Wasserstoff der elektropositive Bestandtheil. Nun wird der Sauerstoff oder das Chlor bei der Zerlegung dieser Verbindungen durch den Strom am positiven, der Wasserstoff am negativen Pol ausgeschieden. Aehnliches gilt in allen anderen Fällen.

Besteht der positive Poldraht aus einem oxydirbaren Metall, z. B. aus Zink, so verbindet sich dieses mit dem an ihm ausgeschiedenen Sauerstoff oder bei Anwendung verdünnter Schwefelsäure mit dem elektronegativen Radical SO_4 , wodurch das Zink in schwefelsaures Zinkoxyd (Zinkvitriol = $\text{Z} + \text{SO}_4$) verwandelt wird. Dieselbe Zersetzung, wie die zwischen den Polen eingeschaltete Flüssigkeit, erleidet auch der flüssige Leiter, womit die Zellen der Kette gefüllt sind. Ist dieser Leiter z. B. verdünnte Schwefelsäure und bestehen die metallischen Leiter aus Zink und Kupfer, so erscheint Wasserstoff am negativen Erreger (Kupfer), das Radical SO_4 aber am positiven (Zink), so dass dieses letztere während der Thätigkeit der Kette durch die Bildung von Zinkvitriol allmählig verzehrt wird.

Die elektrochemischen Erscheinungen erfordern bekanntlich nicht immer die Anwendung einer zusammengesetzten Kette, sondern treten in gar vielen Fällen schon bei einem einzigen galvanischen Element deutlich zu Tage. Ueberhaupt, wo zwei ungleichartige Metalle in einer chemisch zusammengesetzten Flüssigkeit sich berühren, haben wir eine einfache durch die Flüssigkeit geschlossene Kette, in welcher ein elektrischer Strom von dem einen Metall durch

die Flüssigkeit zum anderen gehen und einen bestimmten chemischen Effect erzeugen wird.

Durch die Zerlegungen, welche der galvanische Strom bewirkt, können andererseits auch wieder chemische Verbindungen befördert werden. So verbindet sich Zink sehr leicht mit dem aus dem Wasser ausgeschiedenen Sauerstoff, wenn es den positiven Pol einer Kette bildet. Chemisch reines Zink löst sich nur sehr langsam oder gar nicht in verdünnter Schwefelsäure auf, berührt man es aber mit einem Stück Silber, so bildet sich rasch schwefelsaures Zinkoxyd, während am Silber lebhaft Wasserstoffgas entwickelt wird. Aehnliches geschieht, wenn man in Salzsäure getauchtes Zink mit einem Stückchen Gold oder Platin berührt. Abweichend von dem chemisch reinen und amalgamirten Zink verhält sich das gewöhnliche (käufliche); dieses löst sich nämlich leicht in verdünnter Schwefelsäure, da seine fremdartigen Gemengtheile, so namentlich Eisen und Kohlenstoff, überall wo sie mit dem Zink zugleich die Flüssigkeit berühren, elektrische Ströme veranlassen, die gerade so wie in den vorerwähnten Fällen die chemische Verbindungsfähigkeit des Zinks steigern. Diese partiellen elektrischen Ströme sucht man jedoch in der galvanischen Kette selbst zu beseitigen, schon deshalb, weil durch sie ein von der Thätigkeit der Kette unabhängiger Zinkverlust herbeigeführt wird. Man erreicht diesen Zweck bekanntlich durch Amalgamiren der Zinkplatten, wodurch diesen eine gleichmässige Oberflächenbeschaffenheit ertheilt wird. Umgekehrt kann nun auch ein Metall, welches für sich in einer Säure oder einer anderen Flüssigkeit auflösbar ist, dadurch, dass man es zum negativen Pol der Kette macht, vor dem chemischen Einflusse geschützt werden. Wenn die beiden Poldrähte einer Säule z. B. aus Zink bestehen und in verdünnte Schwefelsäure tauchen, so wird zwar der positive Poldraht in Folge der Zersetzung der Flüssigkeit rasch verzehrt, nicht aber der negative, an dem sich der Wasserstoff abscheidet. Taucht man eine Kupfer- und Zinkplatte in Salzwasser, so werden beide oxydirt, löthet man sie aber zusammen, so wird das Zink viel schneller als für sich oxydirt, während das Kupfer, das negative Glied der Kette, gar nicht angegriffen wird. So werden auch viele Metalle, wie Eisen, Blei, Kupfer, Silber von der gewöhnlichen Salpetersäure oxydirt und aufgelöst; berührt man sie aber innerhalb dieser Flüssigkeit mit einem elektro-positiven Metall (Zink), wodurch sie eine negativ elektrische Ladung

empfangen, so wird der auflösende Bestandtheil der Flüssigkeit nicht an ihnen, sondern am positiven Erreger ausgeschieden, wodurch sie selbst vor dem chemischen Einflusse der Säure bewahrt bleiben.

Die Wasserzersetzung durch den galvanischen Strom erhielt eine besondere Wichtigkeit, als Faraday in ihr ein geeignetes Mittel zur Bestimmung der quantitativen Beziehung zwischen dem Strom und elektrochemischen Process erkannte. Mit den Polen der Kette werden hier zwei Platinplatten verbunden, welche in die Zersetzungsflüssigkeit tauchen, so dass an der einen Platte der Sauerstoff, an der anderen der Wasserstoff zur Entwicklung gelangt. Ausserdem ist aber die Einrichtung so getroffen, dass man beide Gase entweder miteinander gemengt oder getrennt auffangen und messen kann. Eine solche Vorrichtung nennt man Volta-Elektrometer oder meist kurz Voltameter.

Es wurde nun durch zahlreiche Versuche, die Faraday mit Hülfe des Voltameters anstellte, zu einem Gesetze erhoben: dass die Menge der in einer gewissen Zeit erzeugten Gase oder die Menge der zersetzten Flüssigkeit immer der durchströmenden Elektrizitätsmenge proportional ist. Eine bestimmte Elektrizitätsmenge zersetzt hiernach immer dieselbe Quantität eines Elektrolyten, mag sie nun den letzteren mit grösserer oder geringerer Geschwindigkeit, oder mit einer mehr oder weniger starken Spannung durchdringen. Die Menge der zersetzten Flüssigkeit bleibt sich am Ende immer gleich; die Polplatten mögen wie immer verschieden an Grösse sein, und mehr oder minder weit in der Flüssigkeit voneinander abstehen. Die Intensitätsveränderung des Stromes hat keinen Einfluss auf die Resultate der Zersetzung, falls nur die überhaupt durch die Flüssigkeit gehende Elektrizitätsmenge dieselbe bleibt. Auch die Art und Weise, wie die galvanische Kette construirt ist, oder das Material, aus dem sie besteht, ist nicht von Belang. Hat man zwei Ketten, welche die Magnetnadel eines Galvanometers um gleich viel ablenken, so erzeugen sie auch gleich viel Gas. Die Wasserzersetzung ist der durch das elektromagnetische Galvanometer oder den Multiplicator gemessenen Stärke der Ströme proportional.

Man weiss, dass in den Zellen der Kette derselbe elektrische Process stattfindet, wie in der zwischen den Polen eingeschalteten Flüssigkeit. Enthalten die Zellen verdünnte Schwefelsäure oder

schwefelsaures Kali, so werden, wenn die Kette geschlossen und etwa ein Voltameter in den Schliessungsbogen eingeschaltet ist, alle Zinkplatten, in Folge der Elektrolyse, einen bestimmten Gewichtsverlust erleiden. Dieser ist nun in jeder Zelle chemisch proportional dem im Voltameter gleichzeitig entwickelten Wasserstoff, so dass für jedes Aequivalent Wasserstoff, das im Voltameter zum Vorschein kommt, in jeder Zelle 32,3 Gewichtstheile Zink aufgelöst worden sind. Das Gewicht des entwickelten Wasserstoffgases verhält sich also zu dem Gewichtsverlust einer Zinkplatte wie 1 : 32,3, ein Verhältniss, das dem der Mischungsgewichte von Wasserstoff und Zink vollkommen entspricht. In demselben Verhältniss wie wässrige Lösungen werden auch wasserfreie Verbindungen, wenn sie Leiter der Elektrizität sind, von der letzteren zerlegt. Dieselbe Elektrizitätsmenge, welche ein Aequivalent Wasser zerlegen kann, wird auch ein Aequivalent irgend einer anderen Verbindung zersetzen, falls diese überhaupt zerlegbar ist.

Dieses von Faraday aufgestellte Gesetz heisst das der bestimmten oder festen elektrolytischen Action, was man wohl auch so ausdrückt: Zur Abscheidung chemischer Aequivalente aus ihren Verbindungen sind gleiche Elektrizitätsmengen erforderlich. So brauchen 9 Grm. Wasser und 36,5 Grm. Salzsäure als chemisch aequivalente Massen gleiche Elektrizitätsmengen zu ihrer Zerlegung in Wasser- und Sauerstoff, und in Chlor und Wasserstoff. Nennt man nun die durch einen und denselben elektrischen Strom zerlegten Gewichtsmengen binärer Verbindungen elektrochemische Aequivalente, so verhalten sich diese wie die chemischen Aequivalente. Und hierin sah man ein Mittel, um die letzteren, die man durch Wägung gefunden, auf Grund der ersteren zu prüfen. In Folge einer von der elektrischen Thätigkeit der Kette unabhängigen chemischen Action kann es aber geschehen, dass der Zinkverlust in jeder Zelle der Quantität des zersetzten Wassers in dem eingeschalteten Voltameter nicht vollkommen aequivalent ist. So kann schon vor Schliessung der Kette eine Auflösung des Zinks, namentlich wenn dieses nicht gehörig amalgamirt ist, stattfinden, so dass dann mehr als ein Aequivalent Zink in jeder Zelle für jedes Aequivalent zersetzten Wassers verzehrt erscheint.

Daniell theilte einen elektrischen Zersetzungsapparat durch zwei poröse Scheidewände in drei Zellen, die mit einem und dem-

selben Elektrolyten, so unter anderen mit einer Lösung von schwefelsaurem Kali oder Natron gefüllt wurden. In die eine der beiden äusseren Zellen tauchte die negative, in die andere die positive Polplatte einer Kette. Hiernach war es möglich, sowohl die Menge der auf der positiven Seite erschienenen Säure, als auch das auf der negativen Seite frei gewordene Alkali zu bestimmen. Die Menge des zersetzten Salzes zeigte sich äquivalent dem in derselben Zelle gleichzeitig entwickelten Wasserstoff, und wenn derselbe Strom durch ein Voltameter ging, so war das Volumen des in dem letzteren hervorgetretenen Wasserstoffes gleich dem während derselben Zeit in jener Zelle frei gewordenen Wasserstoffe. Es würde nun eben nicht verträglich mit dem elektrolytischen Gesetze oder mit der Proportionalität der überhaupt zersetzten Masse und der Menge der durchgegangenen Elektrizität sein, wenn man annehmen wollte, derselbe elektrische Strom habe einmal das Wasser in Sauer- und Wasserstoff und gleichzeitig auch das Salz in Säure und Alkali zerlegt. Bei weitem wahrscheinlicher ist, dass der Strom das Salz direct und zwar in der Weise zerlegt, dass das Kalium als solches an der negativen Seite auftritt, wo es sich dann auf Kosten des vorhandenen Wassers sogleich wieder oxydirt und dadurch eine Wasserstoffentwicklung veranlasst.

Diese Ansicht der Sache hat nun auch die Wahrscheinlichkeit vermehrt, dass die Salze der Metalloxyde oder die Sauerstoffsalze den sogenannten Haloid- oder binären Salzen, zu denen z. B. Jodkalium gehört, analog zusammengesetzt sind. Reflectiren wir beispielsweise auf schwefelsaures Kali oder Natron, so erscheinen diese Salze in der gewöhnlichen Vorstellungsweise nach der Formel $\text{SO}_3 + \text{RO}$, in der R das metallische Element bedeuten soll, zusammengesetzt. Ueberträgt man aber den Sauerstoff des Oxyds auf die andere Seite, so gewinnt man die Formel $\text{SO}_4 + \text{R}$, welche der obigen Ansicht entspricht. Das Radical SO_4 bildet hiernach, ähnlich wie Chlor, Jod etc. mit Wasserstoff (H) eine Säure, mit Metallen dagegen Salze. Werden nun solche Verbindungen der Einwirkung des elektrischen Stromes unterworfen, so erscheint der Wasserstoff oder das Metall am negativen Pol, wo das letztere entweder als solches sich absetzt oder auf Kosten des Wassers oxydirt wird, während gleichzeitig auf der positiven Seite das Radical SO_4 hervortritt, das mit dem hier befindlichen Metall, woraus der positive Pol besteht, entweder von Neuem ein Salz bildet oder, falls dies nicht angeht, durch seine

Einwirkung auf den Wasserstoff des Wassers eine Entwicklung von Sauerstoff veranlasst. Allgemein lassen sich die Salze der Metalloxyde dieser Ansicht gemäss durch die Formel $AO + R$ vorstellen, wo A die Säure bedeutet.

E. B e c q u e r e l hat diese Vorstellungsweise auch auf die Oxydulsalze übertragen, die dann durch die Formel $AO + R_2$ repräsentirt werden, und der Elektrolyse unterworfen am negativen Pol doppelt so viel Metall als die Oxydsalze absetzen müssen, welches letztere B e c q u e r e l durch den Versuch bestätigt fand. Eine Auflösung von unterschwefligsaurem Kupferoxydul, bereitet bei Abschluss der Luft durch Digestion von kohlensaurem Kupferoxyd mit einer Lösung von unterschwefligsaurem Natron, wurde nebst einer Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd in den Kreis einer schwach geladenen Kette eingeschaltet. Die negativen Pole waren von Platin, die positiven von Kupfer. Nach einigen Stunden waren gefällt aus dem Oxydulsalze 53 Milligrm. Kupfer und aus dem Oxydsalze 26 Milligrm. Basische Salze verhielten sich ähnlich wie Oxydulsalze.

Nach einer anderen Ansicht wird jedoch umgekehrt angenommen, dass bei der Zerlegung von Metallaufösungen durch den elektrischen Strom dieser nur das Wasser zerlege, dessen Wasserstoff dann im Entstehungszustande das Metall aus seiner Lösung reducire*).

Für die einfachen Elektrolyte stellte F a r a d a y noch den Satz auf, dass ihre elementaren Bestandtheile (Jonen) nur in gleich viel elektrochemischen Aequivalenten und nicht in Multiplis derselben an den Polen auftreten können, so dass also von verschiedenen Verbindungen, die zwei chemische Elemente miteinander eingehen können, nur diejenige vom Strome zerlegt werden kann, die aus gleich viel Aequivalenten von jedem besteht. Doch scheint diesem Gesetze, nach Versuchen von B e c q u e r e l jun., keine vollkommene Allgemeingültigkeit zuzukommen.

Nach denselben Gesetzen wie die galvanische kann endlich auch die Reibungs-Elektricität unter geeigneten Umständen chemische Zersetzungen bewirken.

*) Vergl. Phil. Mag. ser. III. Vol. XXV. p. 434; Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 470; ebenda Ergänzungsbd. S. 590.

54. Es ist bekannt, dass die chemische und magnetische Wirksamkeit des elektrischen Stromes auf proportionale Weise zu- und abnehmen, wovon man sich überzeugen kann, wenn man einen und denselben Strom durch ein Voltameter und ein geeignetes Galvanometer gehen lässt. Man erkennt dann auch, dass die chemische, wie die magnetische Thätigkeit einer Volta'schen Kette in den ersten Momenten nach der Schliessung am lebhaftesten ist, dann rasch bis zu einer gewissen Grenze abnimmt und von hier an mehr oder weniger lange sich ziemlich gleich bleibt. Nicht selten nimmt aber auch die Stromstärke fortwährend ab, so dass mitunter ein völliger Stillstand in der Kette eintritt. Befinden sich nun eine Zink- und Kupfer- oder Platinplatte, welche durch einen Kupferdraht miteinander verbunden sind, in einer Lösung von Zinkvitriol, so weiss man, dass metallisches Zink an der negativen Platte sich absetzen und dieselbe nach einiger Zeit überziehen wird. Hierdurch wird aber die Berührung dieser Platte (Kupfer oder Platin) mit der Flüssigkeit aufgehoben, dagegen durch den Contact der ersteren mit dem abgesetzten Zink ein dem vorigen gleicher, aber der Richtung nach entgegengesetzter Strom erregt. Die Thätigkeit der Kette muss sonach aufhören. Bei Anwendung von verdünnter Schwefelsäure bedeckt sich die Kupfer- oder Platinplatte mit einer Schicht Wasserstoffgas, welche auf ähnliche Weise wie das Zink eine Schwächung des ursprünglichen Stromes bewirkt. Wasserstoff in Berührung mit der Metallplatte ist nämlich positiv, die letztere negativ elektrisch, und wenn man dieselbe mit einer anderen reinen Platte von demselben Metalle zu einer Kette verbindet, so bildet diese Platte die negative, jene mit Wasserstoff bedeckte aber die positive Seite. Von dem Dasein des Stromes dieser Kette überzeugt man sich bekanntlich leicht, wenn man beide Platten, die in die erwähnte Flüssigkeit tauchen, durch den Draht eines Galvanometers miteinander in Verbindung setzt. Dieser Strom dauert aber natürlich nur so lange, als das Gas dem Metalle adhärirt, und man kann letzteres sogleich in seinen gewöhnlichen Zustand zurückführen, wenn man die ihm anhaftende Wasserstoffhülle durch Glühen oder durch Eintauchen der Platte in entgegengesetzt wirkende Gase entfernt. Platin, das als positiver Pol einer Kette gedient, und bei der Wasserzersetzung sich mit einer Sauerstoffschicht bedeckt hat, zeigt bis zu einem gewissen Grade das entgegengesetzte Verhalten des durch Wasserstoff

elektrisirten Platins. Ueberhaupt verhält sich eine Metallplatte, die mit einer Wasserstoffhülle versehen ist, zu einer reinen Platte von demselben Metall wie ein elektropositives Glied, während durch Sauerstoff das umgekehrte elektromotorische Verhältniss bewirkt wird. Man nennt nun solche Metalle, welche durch die bei der Elektrolyse an ihnen abgesetzten Stoffe ein besonderes von ihrem gewöhnlichen abweichendes elektrisches Verhalten zeigen, polarisirt, und zwar heisst diejenige Platte, welche als negativer Pol in gesäuertem Wasser diene, positiv, die andere dagegen, welche den positiven Pol bildete, negativ polarisirt. Nach S v a n b e r g ist aber die Polarisation, welche bei der galvanischen Wasserzersetzung an der Oberfläche verschiedener Metalle durch Wasserstoff bewirkt wird, um so grösser, je negativer sonst das Metall ist.

Wenn also in den Zellen einer galvanischen Kette in Folge der Elektrolyse Wasserstoffgas entwickelt wird, so wird dieses die negativen Erregerplatten zum Theil bedecken und dadurch zu einem Strome Veranlassung geben, der dem ursprünglichen entgegengesetzt ist und diesen deshalb bis zu einem gewissen Grade schwächt. Eine solche durch die Elektrolyse hervorgerufene elektromotorische Gegenkraft ist denn auch die Ursache, dass unter den gewöhnlichen einfachen Ketten nur die Grove'sche oder Bunsen'sche angesäuertes Wasser zwischen den Platinplatten eines Voltameters zersetzen kann, während bei der Daniell'schen Kette die elektrische Gegenkraft, welche aus der Berührung der Platinplatten mit den an ihnen ausgeschiedenen Gasen resultirt, im Verein mit dem Widerstande der Flüssigkeit grösser ist als die elektromotorische Kraft dieser Kette. Doch kann selbst eine derartige Kette eine bemerkbare Wasserzersetzung vollbringen, wenn die aus der Elektrolyse hervorgehende Gegenkraft hinreichend geschwächt wird, wie dies P o g g e n d o r f f *) gezeigt hat, indem er dabei die elektromotorische Kraft benutzte, welche bei der Berührung zweier gleichartiger oder ungleichartiger Metallplatten mit verschiedenartigen Flüssigkeiten zu Tage tritt. Hieran reihen sich Versuche von S c h ö n b e i n über den Einfluss der in der Zersetzungszone befindlichen Stoffe auf die chemische Wirksamkeit einer Kette oder deren Stromstärke. Ist die Zersetzungsflüssigkeit z. B. Wasser, in welche Gold- oder Platinelektroden eintauchen, so

*) Ann. Bd. LXXI. S. 132.

kann der Strom einer aus Zink und Gusseisen bestehenden Kette (wovon das erstere in verdünnte Schwefelsäure, letzteres in concentrirte Salpetersäure taucht) keine wahrnehmbare Zerlegung des Wassers bewirken. Umgibt man aber die negative Elektrode mit einem Stoffe, welcher zu dem Wasserstoffe eine grosse chemische Verwandtschaft besitzt, so wird das Wasser merklich zerlegt, wie der an der positiven Elektrode sich entbindende Sauerstoff kundgibt. So können alle Substanzen, welche eine starke Affinität zum Wasser- und Sauerstoffe des Wassers haben, die Zerlegung des letzteren begünstigen. Die Ursache dieser Begünstigung liegt nun vorzugsweise in der depolarisirenden Wirkung jener Substanzen, indem dieselben die an den Elektroden ausgeschiedenen Bestandtheile des Wassers im Moment ihres Auftretens sofort hinwegnehmen.

Nach Untersuchungen von P o g g e n d o r f f hängt die Polarisation von der Intensität des Stromes ab, dergestalt, dass sie anfangs rasch, darauf immer langsamer mit derselben steigt, um sich asymptotisch einer Grenze zu nähern, über welche hinaus eine fernere Steigerung der Intensität keine oder doch nur eine sehr unmerkliche Vergrösserung der Polarisation bewirkt. Von Einfluss ist hierbei die Natur der Flüssigkeit, ihre Concentration und Temperatur, so wie auch der eigenthümliche Zustand der Oberfläche des Platins.

In Beziehung zu den besprochenen Polarisationserscheinungen steht wohl gewiss der eigenthümliche Zustand chemischer Indifferenz (Passivität), in den verschiedene Metalle unter gewissen Umständen gerathen können. So ist es bekannt, dass Eisen, welches in gewöhnlicher Salpetersäure vom specif. Gewichte 1,35 lebhaft angegriffen wird, in derselben manchmal längere Zeit ganz unverändert bleibt. Es bekommt diesen Zustand durch Glühen und Anlaufen in der Luft, oder wenn man es einige Augenblicke als positiven Pol einer Volta'schen Kette benutzt, etc. Diese Erscheinung am Eisen, welche sich jedoch in ähnlicher Weise auch bei verschiedenen anderen Metallen kundgibt, ist wahrscheinlich die Folge eines feinen Ueberzugs, wodurch ein eigenthümliches elektromotorisches Verhältniss begründet und der chemischen Thätigkeit in der betreffenden Flüssigkeit eine andere Richtung gegeben wird.

55. Wenn man den Schliessungsdraht einer kräftigen galvanischen Kette an einer leicht beweglichen Magnetnadel vorüberführt, so wird diese aus ihrer Gleichgewichtslage abgelenkt, und zwar so lange,

als die Kette geschlossen bleibt. Ist der Schliessungsdraht im magnetischen Meridian ausgespannt und hat der sogenannte positive Strom die Richtung von Süd nach Nord, so wird der positive Pol oder das Nordende einer horizontal schwebenden Magnetnadel oberhalb des Stromes nach Ost, unterhalb desselben nach West abgelenkt. Wenn aber die Nadel seitwärts vom Drahte, mit diesem in einerlei Horizontalebene, angebracht ist, so verändert sich nicht ihre Declination, sondern ihre Neigung, so dass ihr Nordende auf der Ostseite des Drahtes nach unten, auf der Westseite desselben nach oben zeigt. Diese Ablenkungen geschehen im entgegengesetzten Sinne, wenn die Richtung des elektrischen Stromes umgekehrt wird, derselbe also von Nord nach Süd geht. Der Schliessungsdraht zeigt auch seiner ganzen Länge nach in jedem Querschnitte eine magnetische Wirksamkeit von gleicher Stärke. Um nun die Beziehung zwischen der Richtung der Ablenkung und der Richtung des Stromes jederzeit leicht übersehen zu können, gebraucht man gewöhnlich folgende einfache Regel von Ampère. Der Beobachter denke sich selbst oder eine kleine menschliche Figur innerhalb des Schliessungsdrahtes so, dass der Strom bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt. Ist dann das Gesicht der Magnetnadel zugekehrt, so erscheint ihr Nordende stets nach der Linken abgelenkt. Befindet sich die Nadel unterhalb des Stromes, so ist das Auge natürlich abwärts gekehrt. Für das Südende der Nadel geschehen die Ablenkungen im entgegengesetzten Sinne, und so erkennt man, dass der Schliessungsdraht durch seine Einwirkung auf die beiden Pole der Nadel der letzteren eine Stellung zu geben sucht, deren Richtung auf der seinigen senkrecht ist. Diesem Bestreben wirkt aber der Erdmagnetismus entgegen, indem er die Nadel in den magnetischen Meridian zurückzuführen sucht.

Gibt man dem Schliessungsdrahte die Form eines länglichen Rechtecks, innerhalb dessen die Magnetnadel schwebt, so wird diese durch den oberen und unteren Arm in demselben Sinne abgelenkt, da ein und derselbe Strom diese Drahtstücke in entgegengesetzten Richtungen und auf zwei Seiten der Nadel durchläuft. Lässt man daher den Leitungsdraht in vielfachen Windungen um die Nadel, parallel mit der Ebene ihres Meridians, herumgehen, so wirken alle in gleicher Weise auf die Nadel, und die ablenkende Kraft des Stromleiters ist dann der Anzahl der Windungen nahezu proportional. Auf

diesem Princip beruht der Multiplicator oder das Galvanometer, dessen Empfindlichkeit sich bekanntlich noch bedeutend erhöhen lässt, wenn man statt einer einfachen Magnetnadel eine astatische Nadel anwendet.

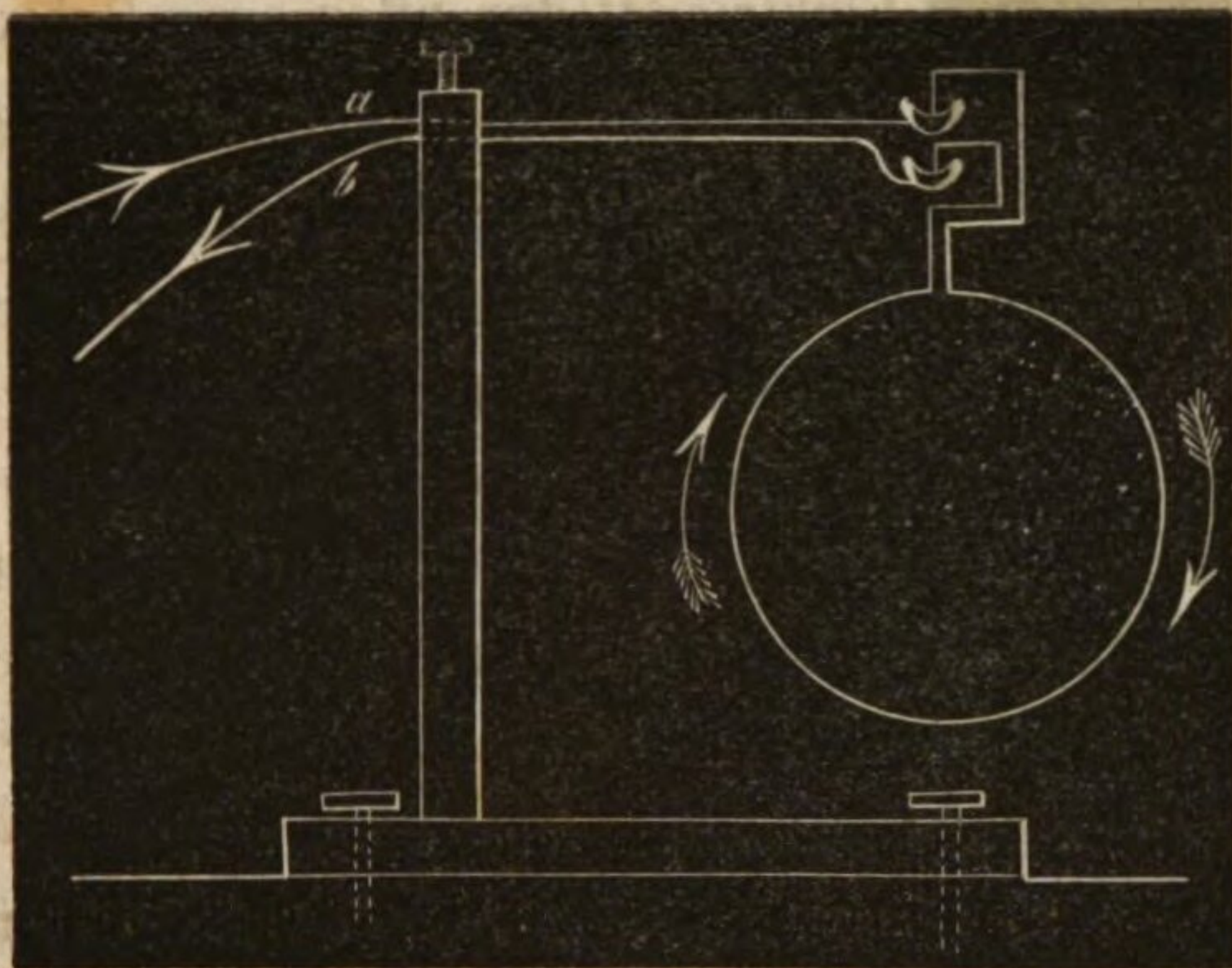
Die Kraft, womit der Schliessungsdraht auf einen Magnetpol wirkt, hängt sowohl von der Stromstärke, als auch von dem freien Magnetismus des Pols ab, sie steht mit beiden in directem Verhältniss. Ausserdem nimmt diese Kraft um so mehr ab, je weiter die Nadel vom Schliessungsdrahte entfernt wird. Biot und Savart fanden aus den Schwingungszeiten von Magnetnadeln, die in verschiedenen Entfernungen vom Schliessungsdrahte oscillirten, das Gesetz, dass die Kraft, womit ein langer, gerader Schliessungsdraht auf einen Magnetpol wirkt, im umgekehrten Verhältnisse mit der Entfernung dieses Pols vom Drahte steht. Dasselbe ergibt sich auch auf dem Wege der Rechnung unter der Voraussetzung, * dass die Wirkung des einzelnen Stromtheilchens auf einen Magnetpol oder überhaupt auf ein magnetisches Element dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist.

Aus der Art und Weise aber, wie der Schliessungsdraht den Pol der Magnetnadel aus der Ruhelage ablenkt, scheint hervorzugehen, dass die durch den elektrischen Strom veranlasste magnetische Kraft nicht längs der Verbindungslinie des elektrischen Theilchens mit dem magnetischen wirkt, sondern senkrecht gegen die Ebene, welche man sich durch das Stromtheilchen (im Sinne seiner Bewegung) und das magnetische Theilchen gelegt denken kann. So wird der Nordpol einer frei beweglichen Magnetnadel links von dieser Ebene, der Südpol dagegen rechts von derselben abgelenkt. Die Richtung der magnetischen Kraftäusserung des Drahtes ist hiernach parallel mit der Schwingungsebene der Nadel.

Hat der Stromleiter die Form eines Kreises, dessen Ebene in die des magnetischen Meridians fällt, so wirkt derselbe auf eine kleine Magnetnadel, die in der Axe des Stromes, d. h. in der durch die Mitte des letzteren gehenden und auf seiner Ebene senkrecht stehenden Geraden, beweglich ist, wie ein in dieser Axe liegender Magnetstab, dessen Nordpol links von der Richtung des Stromes liegt. Dabei ist die Entfernung der Mitte des Stabes von dem Mittelpunkte der Nadel gleich dem Abstände dieses Punktes vom Kreisumfang.

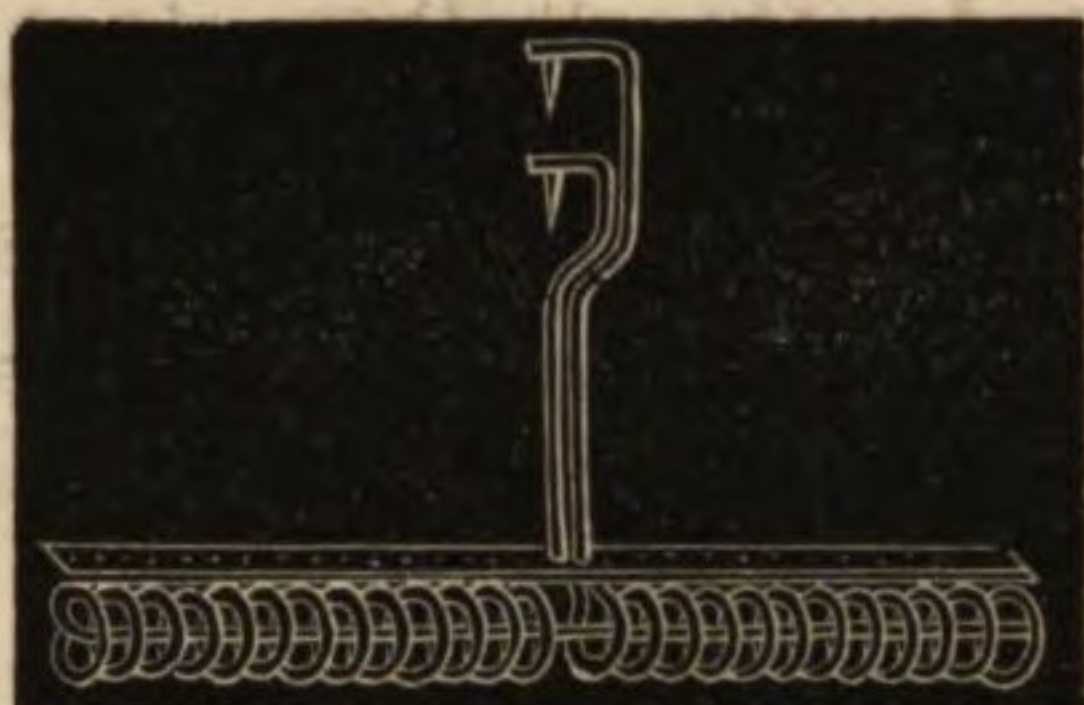
des Schliessungsdrahtes, der mit dem Stabe gleiches magnetisches Moment hat.

Ein kreisförmig gebogener Schliessungsdraht, der an seinen Enden mit Stahlspitzen versehen ist, werde an einem Gestelle so angebracht, dass die eine Stahlspitze auf dem Boden eines Quecksilbernäpfchens, und zwar auf einem daselbst befindlichen Glasplättchen ruht, während die andere Spitze eben nur in das Quecksilber eines zweiten Näpfchens taucht. Setzt man nun die Drähte a und b,



welche von einander isolirt sind und an ihren Enden die erwähnten Quecksilbernäpfchen tragen, mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung, so geht der Strom von dem einen Näpfchen durch den kreisförmigen Draht zum anderen und von da zur Kette zurück. Nach einigen Schwankungen stellt sich dann der Kreis, in Folge der Einwirkung des Erdmagnetismus so, dass seine Ebene den magnetischen Meridian rechtwinklich durchschneidet, und dabei ist der positive Pol des kleinen Magneten, welcher durch den kreisförmigen Strom vertreten wird, nach Norden gerichtet. In diesem Falle, wo der sogenannte positive Strom in dem unteren Theil des kreisförmigen Schliessungsdrahtes von Ost nach West geht, ist das Gleichgewicht ein stabiles. Ist dagegen die andere Seite des Drahtes, welche den negativen (Süd-) Pol vorstellt, nach Norden gekehrt, so findet zwar noch Gleichgewicht statt, wenn die Ebene des Leiters zum magnetischen Meridian senkrecht ist, aber dasselbe ist kein dauerndes, da der Draht bei einer geringen Ablenkung aus dieser Stellung sich völlig umdreht, um in jene Lage des stabilen Gleichgewichtes einzutreten.

Diese Wirkung wird gesteigert, wenn man dem Schliessungsdrahte die Form einer Schraube gibt, deren einzelne Windungen nahezu Kreise darstellen. Bringt man die Spitzen in die Quecksilbernäpfchen des obigen Gestelles, so stellen sich sämtliche Kreisebenen senkrecht gegen den magnetischen Meridian, so dass die Axe der Schraube in denselben zu liegen kommt und also die Richtung einer



Declinationsnadel annimmt. Nähert man den Pol eines gewöhnlichen Magnetstabes dem einen oder anderen Ende der von der Elektrizität durchflossenen Schraube, so erfolgt eine ganz ähnliche Wirkung wie zwischen zwei geradlinigen Magnetstäben. Eine

solche Schraube kann nun rechts oder links gewunden sein. Befindet sich eine kleine Magnetnadel in der Axe einer rechts gewundenen Schraube, so kehrt sie ihr Nordende dorthin, wo der sogenannte positive Strom austritt, während dasselbe Ende in einer links gewundenen Spirale dahin weist, wo der Strom eintritt. Obschon nun ein solcher schraubenförmiger Stromleiter fast alle Eigenschaften eines gewöhnlichen Magnetstabes zeigt, so ist doch sein grösstes magnetisches Moment nicht wie bei diesem abhängig von der Länge, sondern nur von der Stromstärke und von der Grösse und Anzahl der Windungen. Ein elektrodynamischer Schraubendraht äussert seine stärkste Wirkung in der Mitte, ein gewöhnlicher geradliniger Magnetstab in der Nähe seiner beiden Enden. Diesen Unterschied hat Poggendorff bekanntlich wahrnehmbar gemacht. Schiebt man nämlich in einen vertikal gehaltenen hohlen Magnetstab, der ungefähr 3 Zoll lang, $2\frac{1}{2}$ Linie weit und mit einer dünnen Glasröhre ausgefüllt ist, eine leichte etwa 9 Linien lange Magnetnadel von oben vorsichtig hinein, so fällt dieselbe nicht hindurch, sondern ragt freischwebend noch zum Theil aus dem Magneten hervor. Drückt man sie tiefer hinab, so steigt sie nach Wegfall des Druckes in die Höhe, um ihre vorige Stellung wieder einzunehmen. Wird dagegen die Nadel in eine von der Elektrizität durchströmte Drahtspirale gebracht, so geht sie sogleich bis zur Mitte, wo sie bei einem hinreichend kräftigen Strome schweben bleibt.

56. Aus der Art und Weise, wie die Pole einer Magnetnadel auf den verschiedenen Seiten eines Stromleiters abgelenkt werden, erkennt man, dass diese Pole das Bestreben haben, in entgegengesetzten

Richtungen um den Stromleiter zu rotiren. Um eine solche Drehung wirklich hervorzubringen, kommt es also nur darauf an, dass man den Magneten hinreichend beweglich macht und den Stromleiter bloß auf den einen Pol desselben wirken lässt.

Dieselben Kräfte aber, welche den Magneten um den Stromleiter bewegen, werden auch umgekehrt im Stande sein, einen beweglichen Leitungsdraht um den Pol eines festen Magnets rotiren zu machen. Um solche elektromagnetische Rotationsbewegungen hervorzubringen, hat man bekanntlich eine Menge von Vorrichtungen, von denen wir hier einige der gewöhnlichsten anführen wollen. So lässt sich die Rotation eines Magnets um einen festen Stromleiter nach Faraday folgendermassen darstellen.

Ein Glasgefäß, dessen inneren Rand ein metallener Ring umgibt, ist bis zu dem letzteren mit Quecksilber gefüllt. Durch einen vertikalen Draht *a* geht der elektrische Strom zur Mitte der Quecksilberfläche, von wo er sich rings nach dem Rande verbreitet, um von diesem mittelst des Drahtes *b* nach dem anderen Pol einer Kette zu gehen; oder er hat die entgegengesetzte Richtung. Im Quecksilber sieht man einen Magnetstab, welcher durch eine unten an ihm befestigte Platinmasse in vertikaler Stellung schwimmend erhalten wird. Geht nun der Strom von der Mitte nach dem Rande des Quecksilbers, so rotirt der Magnet von der Linken gegen die Rechte oder im entgegengesetzten Sinne, je nachdem der Nord- oder Südpol sich oben befindet. Hat dagegen der Strom die entgegengesetzte Richtung, geht er also aufwärts durch das Drahtstück *a*, so geschieht die Drehung bei aufgerichtetem Nordpol von der Rechten nach der Linken, und im umgekehrten Sinne, wenn der Südpol oben befindlich ist.

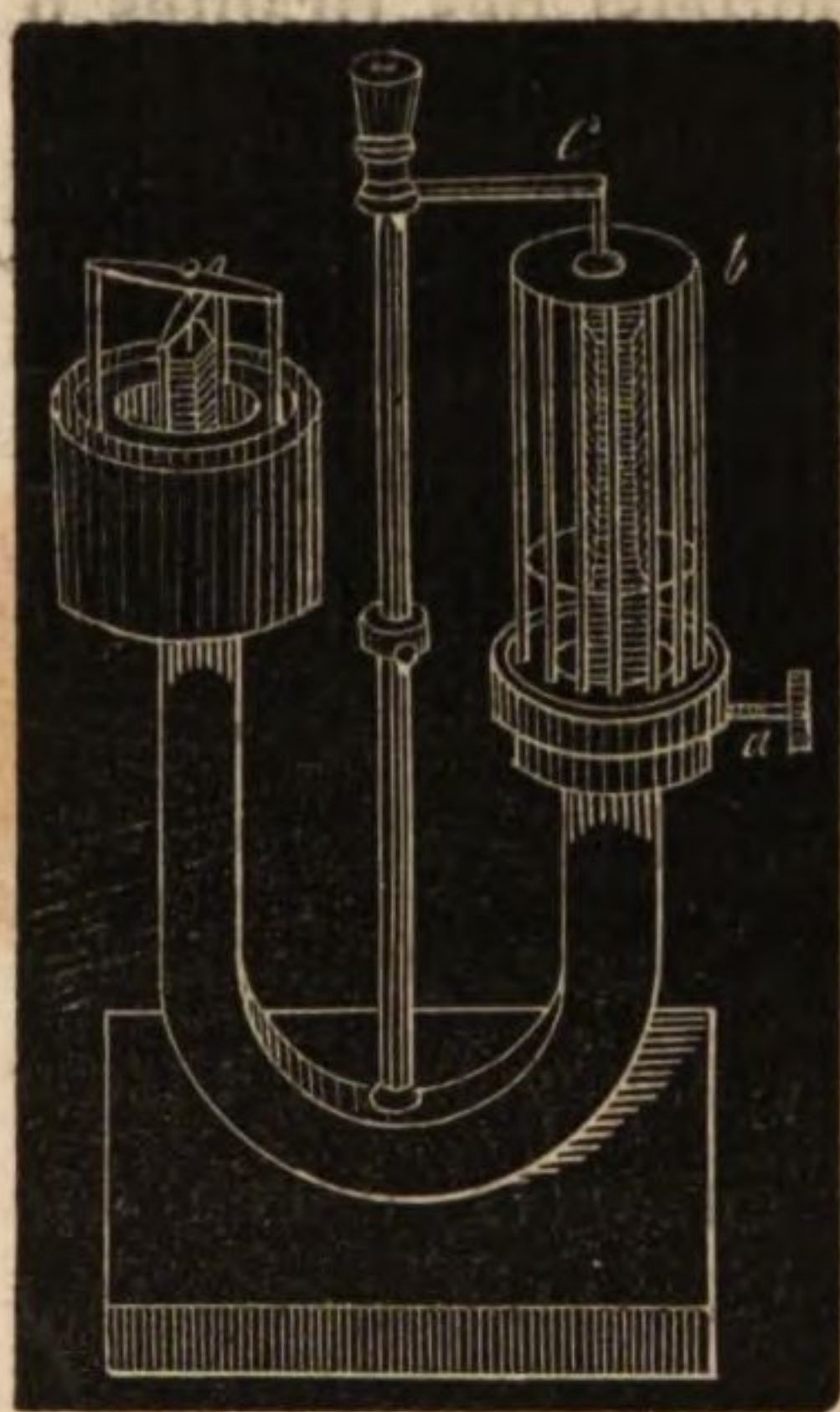


Die Rotation eines beweglichen Leitungsdrahtes um einen festen Magneten lässt sich darthun, wenn man in eine an beiden Enden durch Kork verschlossene Glasröhre unten ein Eisenstäbchen *a* steckt, das über den Kork ziemlich weit hervorsteht, den Boden mit Quecksilber bedeckt und in dasselbe einen Draht *b* gehen lässt, welcher unten ein kleines Knöpfchen von Glas trägt, das die Berührung zwischen *b* und *a* verhindert. Der Draht *b* ist oben in den Haken eines anderen Drahtes eingehängt, der mit dem einen Pol



einer Volta'schen Kette in Verbindung steht, während das Quecksilber am Boden der Röhre mit dem anderen Pol der Kette durch den Draht c verbunden ist. Wenn nun der Strom circulirt und ein starker Magnet an das äussere Ende von a gehalten wird, um dieses durch Vertheilung zu magnetisiren, so rotirt der Draht b innerhalb der Röhre um den Pol a. Wird der letztere umgekehrt oder die Richtung des elektrischen Stromes geändert, so verändert sich damit auch die Richtung der Rotation.

Der folgende Apparat*) ist ebenfalls sehr wohl geeignet, die Drehung des beweglichen Stromleiters um einen festen Magnetpol zu zeigen. Auf einem Holzbrette, das noch mit Stellschrauben versehen sein kann, ist ein Hufeisenmagnet vertikal befestigt. An dem einen Schenkel desselben (rechts) ist eine hölzerne Rinne a angebracht, die sich auf- und niederschieben, vermittelt einer Schraube aber feststellen lässt. Eine Anzahl von dünnen Kupferstäben, die nahe am



Rande einer Kupferscheibe b befestigt sind, bilden ein leicht bewegliches System, indem an der unteren Fläche der Scheibe und zwar in ihrer Mitte eine Stahlspitze befindlich ist, die in einer flachen Vertiefung auf der Oberfläche des Magnetpols ruht. Auf der oberen Seite der Kupferscheibe ist ein Quecksilbernapfchen befestigt, in welches das Ende eines Drahtes c eintaucht, der mit dem einen Poldrahte einer galvanischen Kette verbunden werden kann. Die Rinne a wird mit reinem Quecksilber gefüllt und so festgestellt, dass die unteren amalgamirten Enden der Kupferstäbe dasselbe eben berühren. Wird nun der Draht c mit dem einen, und das Quecksilber in der Rinne mit dem anderen Pol einer galvanischen Kette, etwa eines Zinkkohlenpaares, verbunden, so dreht sich der bewegliche Leiter b je nach der Richtung des Stromes in der einen oder anderen Weise um den Magnetpol.

Auf dem anderen Pol desselben Hufeisenmagnets sind die beiden metallischen Elemente einer einfachen galvanischen Kette frei beweglich aufgehängt. Zwei ungleich weite Cylinder aus Kupferblech sind

*) Buff's Grundzüge der Experimentalphysik, Heidelberg.

nämlich durch einen ringförmigen Boden verbunden, so dass die beiden Wände derselben einen ringförmigen Raum einschliessen, der zum Theil mit verdünnter Schwefelsäure angefüllt wird. In diese taucht, ohne jedoch den Kupfertrog zu berühren, ein amalgamirter Zinkcylinder, der mit einem kupfernen Bügel oder Rahmen versehen ist, in dessen Mitte sich eine Stahlspitze befindet, welche in ein inwendig verzinnertes Näpfchen aus gehärtetem Eisen gestellt wird. Das letztere ist an der oberen Seite eines zweiten kupfernen Rahmens befestigt, der mit dem Kupfertroge in Verbindung steht. Unterhalb dieses Näpfchens hat endlich derselbe Rahmen eine Stahlspitze, vermittelst deren sich der Kupfertrog auf die Oberfläche des Magnetpols stützt. Der sogenannte positive Strom geht nun vom Zink durch die Flüssigkeit zum Kupfer etc., und während dies geschieht, drehen sich die beiden Cylinder in entgegengesetzten Richtungen um den Magnetpol. Barlow beschrieb zuerst einen Apparat dieser Art, der aber nur dem Zinkcylinder die Drehung gestattete, bis Marsh die Beweglichkeit des Kupfercylinders hinzufügte.

Wenn man einen elektrischen Strom durch einen um eine vertikale Axe drehbaren Magneten dergestalt leitet, dass er ihn von dem einen Pol an bis zur Mitte durchfliesst und dann seitwärts von ihm hinweggeht, so wird der Magnet um eine Rotation um seine eigene Axe versetzt. Hat dagegen der Strom die Richtung von der Mitte nach oben, so geschieht die Drehung im entgegengesetzten Sinne.

An flüssigen Leitern hat man endlich gleichfalls nach ähnlichen Gesetzen wie bei starren, elektromagnetische Rotationsbewegungen beobachtet.

57. Der Schliessungsbogen einer kräftigen galvanischen Kette wirkt nicht nur ablenkend auf die Magnetnadel, sondern er zieht auch Eisenfeile an, und ist selbst im Stande, Eisen und Stahl magnetisch zu machen. Taucht man den Draht, während er von der Elektrizität durchströmt wird, in Eisenfeile, so werden die Eisentheilchen durch Anziehung festgehalten; dieselben ordnen sich jedoch nicht wie an einem gewöhnlichen Magneten, sondern sie wickeln den Draht gleichsam ein, indem sie sich ihrer ganzen Länge nach quer um ihn herumlegen. Befindet sich die Eisenfeile auf einem Papierblatt oder einer Glastafel, so legen sich die einzelnen Theilchen, dem Vorerwähnten entsprechend, senkrecht gegen den Draht, wenn derselbe von der Tafel bedeckt ist. Hiernach stellt sich also der Schliessungs-

draht, so lange die Elektrizität durch ihn hindurchgeht, als ein Transversalmagnet dar, und es lässt sich leicht erkennen, dass der Stromleiter in Eisenstäben oder Stahlnadeln den Magnetismus ganz auf die Art und Weise hervorruft, wie es gemäss der bekannten Einwirkung des Schliessungsdrahtes auf die Magnetnadel zu erwarten ist. Zum Behufe der Magnetisirung von Stahlnadeln muss nämlich der Draht quer über oder unter der Nadel, am besten in einer auf der Axe der Nadel senkrechten Richtung fortgeführt werden. Denkt man sich nun den Beobachter in die Richtung des elektrischen Stromes so gelegt, dass dieser bei den Füßen ein- und am Kopfe austritt, so wird die Nadel in der Art magnetisirt, dass sie ihren Nordpol zur Linken des Beobachters hat.

Die Wirkung des Schliessungsdrahtes lässt sich beträchtlich verstärken, wenn man denselben schraubenförmig um eine Glasröhre windet, in welche man die Nadel legt. Die Lage der Pole in der auf diese Weise magnetisirten Nadel ist durch die Richtung der Drahtwindungen bedingt. Ist die Spirale rechts gewunden, so bekommt die Nadel oder ein Eisenkern den Südpol da, wo der Strom eintritt, bei einer links gewundenen aber an dem Ende, wo er austritt.

Man nennt nun überhaupt einen Eisenstab, welcher durch einen elektrischen Strom vermittelt einer solchen Drahtumwicklung mag-



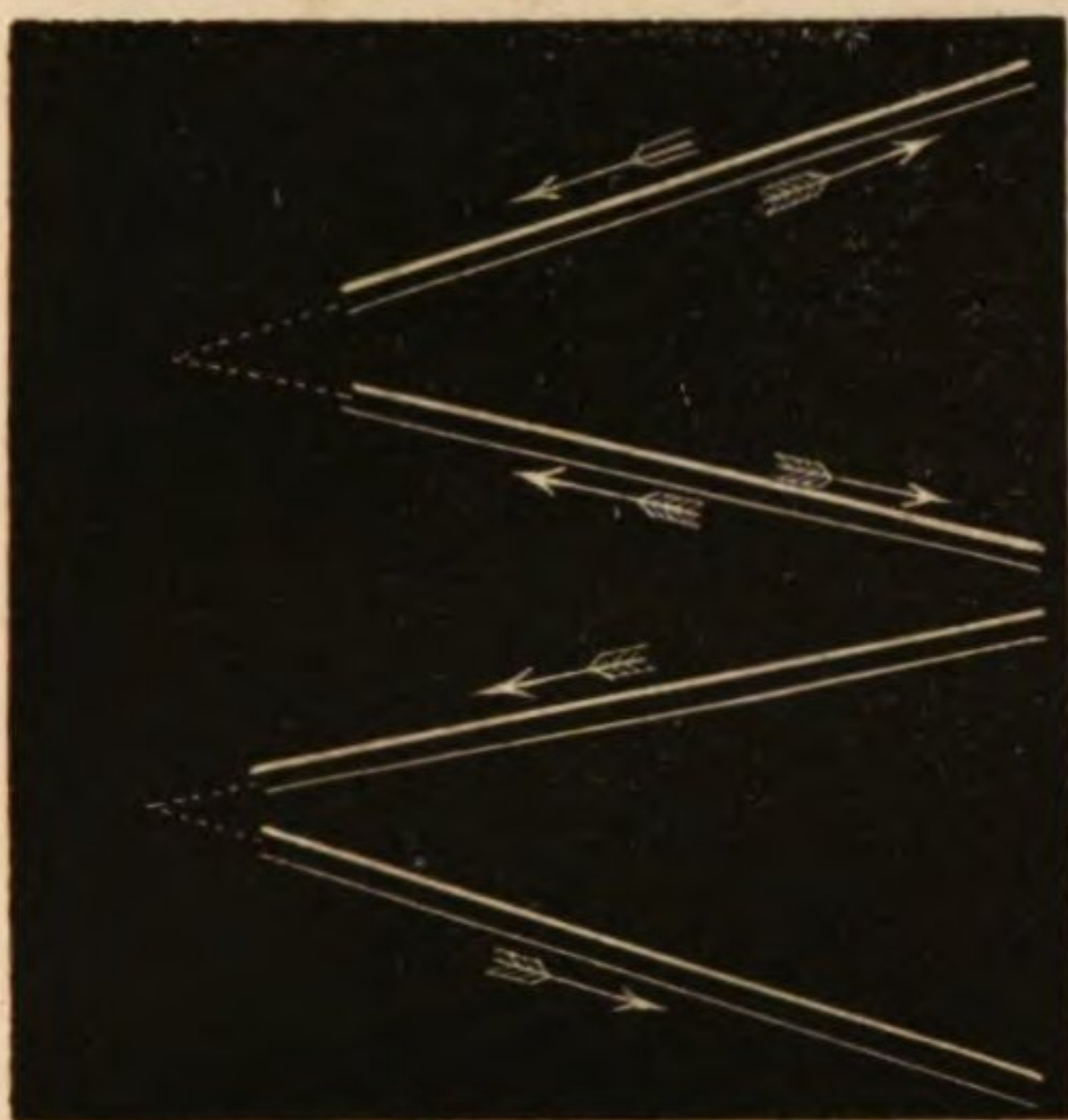
netische Polarität erlangt, einen Elektromagneten, der hinsichtlich seiner Form geradlinig oder hufeisenförmig sein kann. Dabei ist der überspinnene Kupferdraht entweder unmittelbar auf das Eisen gewickelt oder nicht, so dass dieses im zweiten Falle innerhalb der Spirale verschiebbar ist. Die Ordnung aber, in welcher die Windungen neben und aufeinander liegen, ist im

Ganzen gleichgiltig, wenn nur alle Windungen nach derselben Richtung gehen, was bei einem hufeisenförmigen Stabe eben so wohl als bei einem geradlinigen zu beachten ist.

58. Die Art und Weise, wie der Schliessungsdraht einer galvanischen Kette auf die Magnetnadel wirkt, liess ferner vermuthen, dass auch zwei bewegliche Stromleiter nach bestimmten Gesetzen sich anziehen und abstossen würden, worüber Ampère eine Reihe wichtiger Lehrsätze aufstellte, zu deren experimentaler Prüfung man bekanntlich eine Menge geeigneter Vorrichtungen besitzt. Die Lehre von

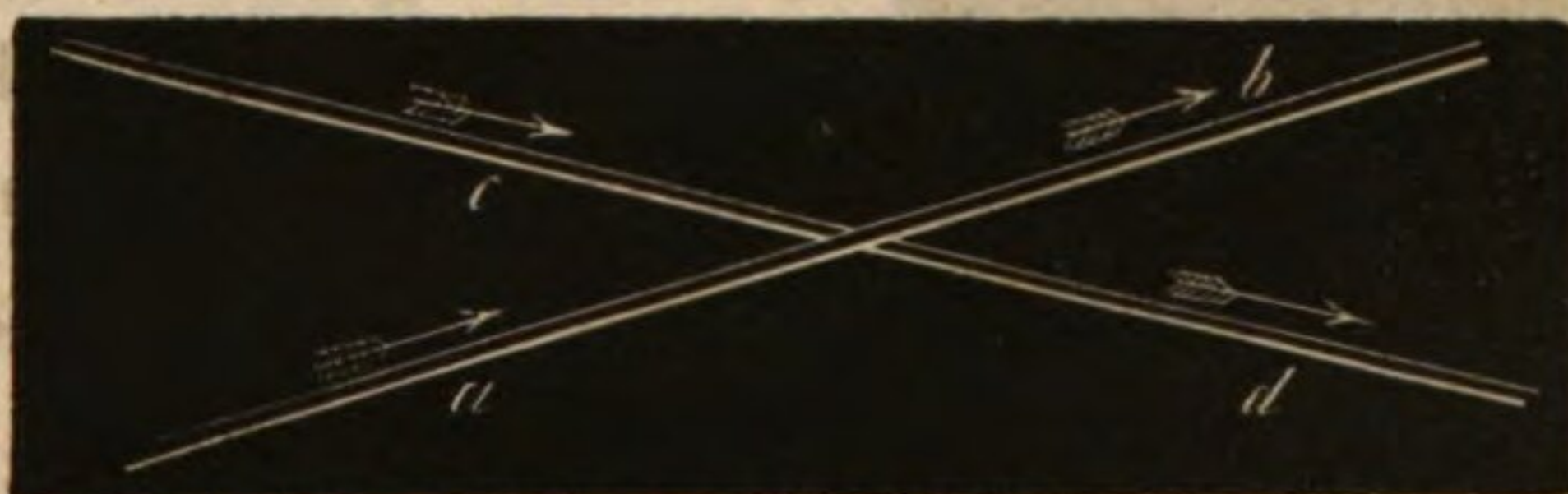
der gegenseitigen Einwirkung elektrischer Stromleiter aufeinander heisst nun Elektrodynamik, wozu man wohl auch noch die Wechselwirkung zwischen einem Stromleiter und Magneten rechnet. In diesem Sinne ist dann das Wort so ziemlich gleichbedeutend mit dem Ausdruck „Elektromagnetismus.“

Zwei parallele Schliessungsdrähte ziehen einander an, wenn der elektrische Strom in beiden nach derselben Richtung geht; sie stossen einander ab, wenn die Ströme in ihnen entgegengesetzte Richtung haben.



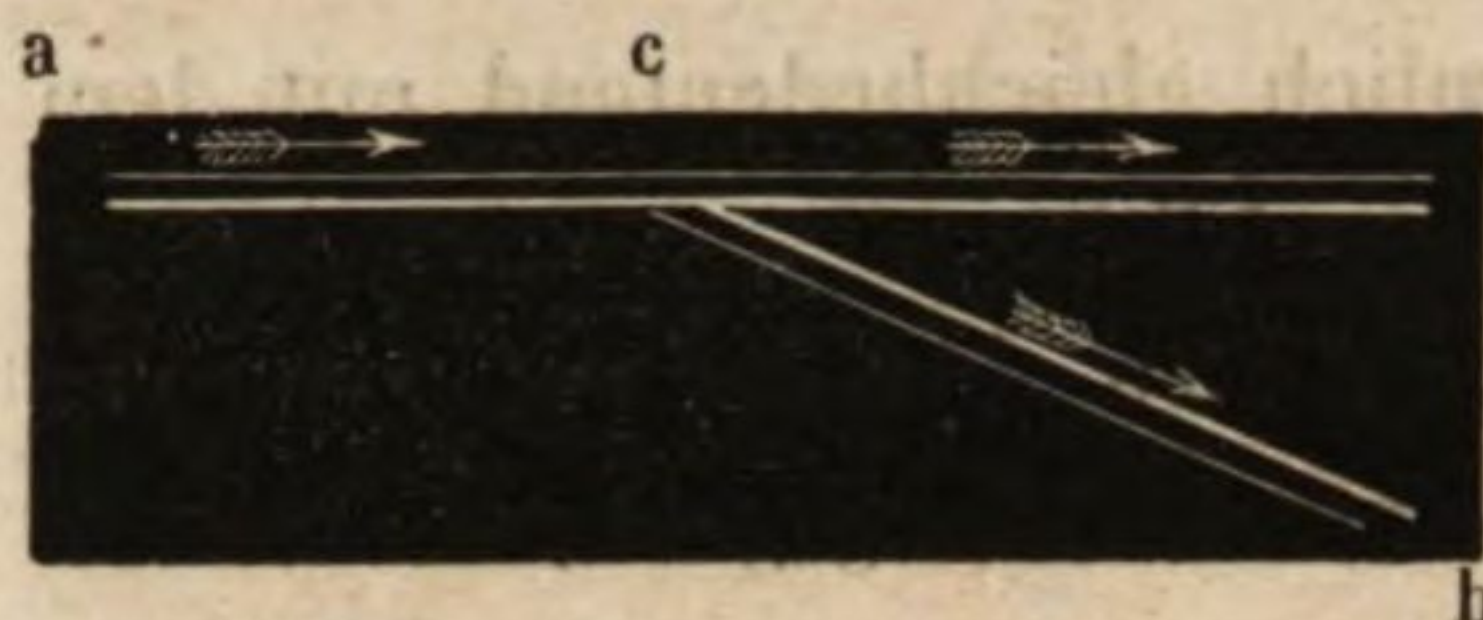
Zwei geradlinige Leiter, die einen Winkel miteinander machen, ziehen sich gegenseitig an, wenn der elektrische Strom in beiden zugleich auf die Spitze des Winkels zu- oder in beiden zugleich von der Spitze des Winkels abgeht; sie stossen einander ab, wenn der Strom in dem einen Leiter auf den Scheitelpunkt des Leiters zu-, in dem anderen von ihm hinweggeht.

Wenn zwei geradlinige Stromleiter sich durchkreuzen, so streben sie sich zueinander parallel zu stellen, und zwar so lange, bis ihre Ströme nach einerlei Richtung gehen und parallel sind. Denn die Theile a und c, in welchen der Strom nach dem Kreuzungspunkte hingehet, ziehen sich an, eben so auch die Theile b und d, in denen der Strom von dem genannten Punkte hinweggeht. Dagegen stossen die Theile a und d, wie auch die Theile c und b einander ab,



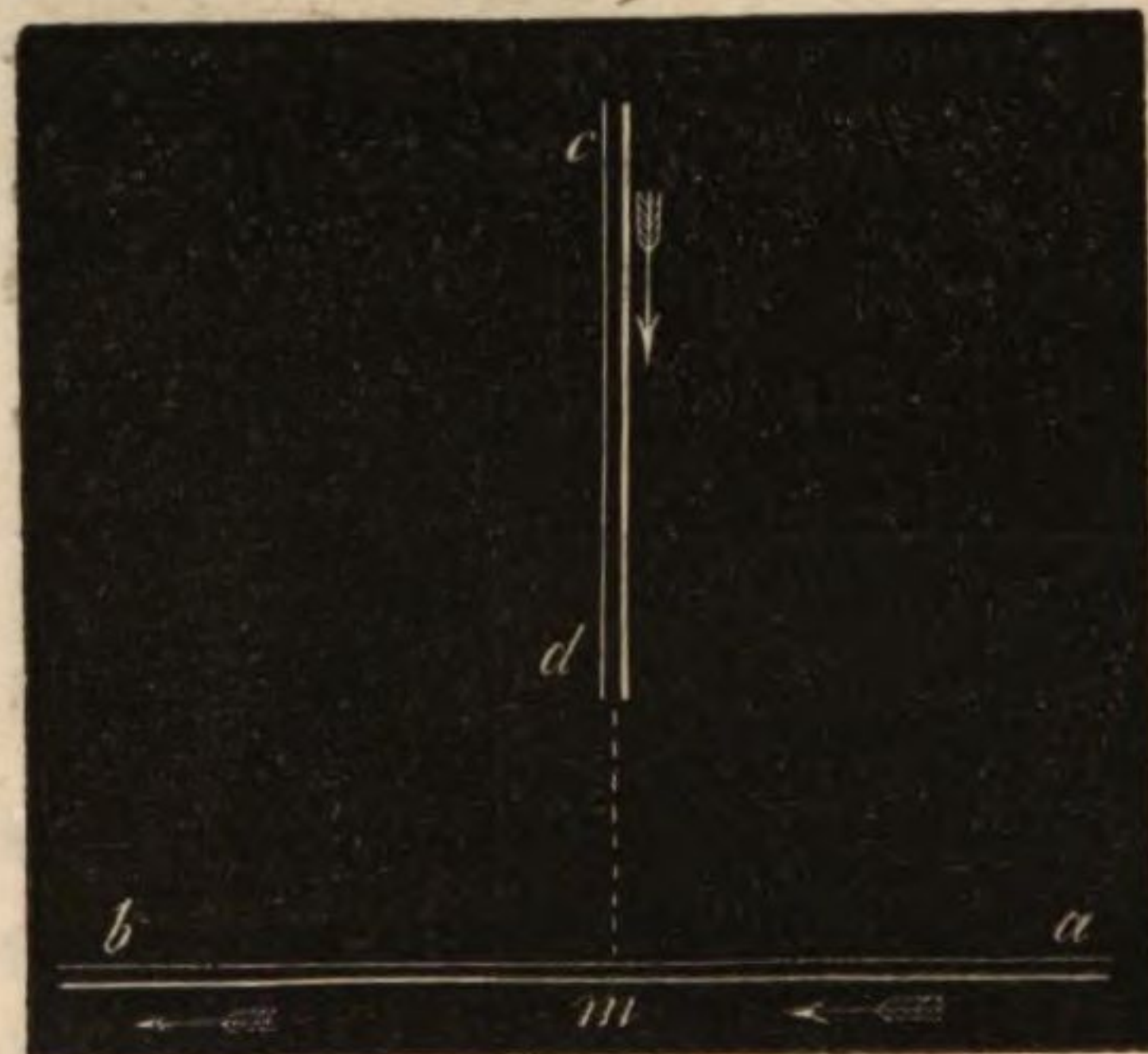
weil der Strom in dem einen Theil nach dem Kreuzungspunkte hin-, in dem anderen aber von diesem wegfließt. Dieses Gesetz gilt auch noch, wenn zwei Stromleiter im Raume sich durchkreuzen, ohne in derselben Ebene zu liegen, wo man dann statt des Durchschnittspunktes die kürzeste Entfernung zwischen den Richtungen beider Ströme in Betracht zieht.

Nach dem Vorstehenden müssen nun die Theile $a c$ und $c b$ eines und desselben Stromleiters sich abstossen, weil der Strom in $a c$ zu dem Scheitelpunkte c hingehet, während er in $c b$ von demselben wegfliesst. Und hieraus folgt dann weiter, dass auch die verschiedenen aufeinander folgenden Theilchen eines und desselben geradlinigen Stromleiters einander abstossen, da man die Verlängerung von $a c$ als den zweiten Schenkel eines Winkels von 180° betrachten kann. Dieser Satz lässt sich bekanntlich auch experimental bestätigen.



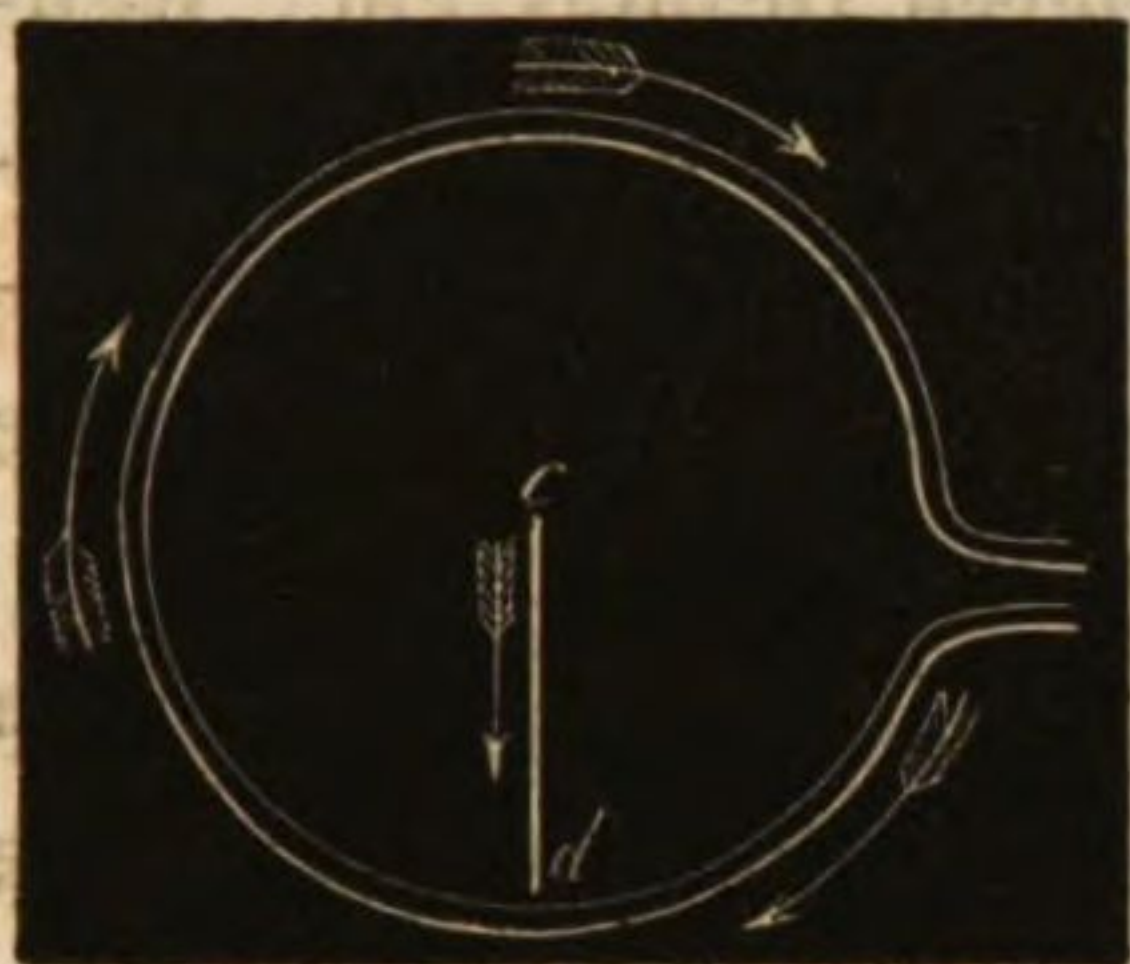
Die Wirkung krummliniger Stromleiter ist aber gleich der Wirkung geradliniger, wenn ihre allgemeine Richtung und Länge dieselbe ist. Wenn zwei Stromleiter sich durchkreuzen, so können dieselben begrenzt oder unbegrenzt sein. Das erstere findet statt, wenn ein Leiter nicht oder nur bis zu dem Scheitelpunkte des Winkels geht, den er mit einem anderen macht. Dagegen ist derselbe unbegrenzt, wenn er über den Scheitelpunkt beträchtlich hinausgeht oder in sich zurückläuft.

Geht nun ein parallel mit sich selbst beweglicher Strom $c d$ so gegen einen festen unbegrenzten Strom $a b$ hin, dass diesen seine Verlängerung trifft, so wird er nach einem bereits erörterten Gesetze von dem Theil $a m$ des Stromes $a b$ angezogen und von dem Theil $b m$ desselben abgestossen werden. Der Strom $c d$ muss also, indem diese Einwirkungen auf gleiche Weise sich beständig wiederholen, parallel mit sich selbst in einer dem Strom $a b$ entgegengesetzten Richtung fortgehen. Entfernt sich aber der Strom $c d$ von $a b$, so wird er nach demselben Gesetze umgekehrt von $a m$ abgestossen und von $m b$ angezogen. In diesem Falle wird er also in der Richtung des Stromes $a b$ selbst fortgetrieben. Ist aber der Draht $c d$ blos um den Punkt c beweglich, so kann natürlich nur eine Drehung desselben nach der einen oder anderen Seite erfolgen. So wird nun auch ein um den Punkt c beweglicher Draht, wenn in ihm der elektrische Strom nach



von dem Theil $a m$ des Stromes $a b$ angezogen und von dem Theil $b m$ desselben abgestossen werden. Der Strom $c d$ muss also, indem diese Einwirkungen auf gleiche Weise sich beständig wiederholen, parallel mit sich selbst in einer dem Strom $a b$ entgegengesetzten Richtung fortgehen. Entfernt sich aber der Strom $c d$ von $a b$, so wird er nach demselben Gesetze umgekehrt von $a m$ abgestossen und von $m b$ angezogen. In diesem Falle wird er also in der Richtung des Stromes $a b$ selbst fortgetrieben. Ist aber der Draht $c d$ blos um den Punkt c beweglich, so kann natürlich nur eine Drehung desselben nach der einen oder anderen Seite erfolgen. So wird nun auch ein um den Punkt c beweglicher Draht, wenn in ihm der elektrische Strom nach

einem kreisförmigen Strome hingeht, in einer dem letzteren entgegengesetzten Richtung sich drehen müssen. Geht dagegen der begrenzte



Strom von d nach c , so erfolgt die Drehung dieses Drahtes im umgekehrten Sinne. Ist der Strom cd fest und der kreisförmige Stromleiter beweglich, so dreht sich der letztere in einer Richtung, welche der Drehung von cd entgegengesetzt ist.

Die Wechselwirkung zweier Stromelemente steht nach einem von Ampère aufgestellten Gesetze im zusammengesetzten Verhältnisse ihrer Intensitäten und im umgekehrten des Quadrates der Entfernung. Dieses Gesetz hat nun W. Weber*) durch den Versuch bestätigt, wozu er sich eines eigenen Instrumentes bediente, das sich vorzugsweise zu feineren Beobachtungen und Massbestimmungen elektrodynamischer Kräfte eignet und deshalb „Elektrodynamometer“ genannt wird.

59. Nach dieser thatsächlichen Darstellung der verschiedenen Wirkungen des elektrischen Stromes wenden wir uns nun, den bereits dargelegten Principien Folge gebend, zu einer theoretischen Ableitung derselben.

Wenn man mit dem negativen Pol einer galvanischen Kette oder Säule einen Metalldraht verbindet, so wissen wir, dass das an diesem Pol angehäuften Elektricum zunächst einen Druck ausüben wird auf die dem Drahte eigenthümliche Elektricität, so dass dieselbe nach der anderen Seite, d. h. nach dem freien Ende des Drahtes hin eine Verschiebung erleidet. Dieses Drahtende wird daher mit Elektricität in gewissem Masse geladen oder negativ elektrisirt. Dasselbe, nur im entgegengesetzten Sinne, geschieht, wenn man mit dem positiven Pol einen Draht verbindet. Das Elektricum des letzteren, bisher im Gleichgewicht mit sich selbst, zieht sich dann nach dem eben genannten Pol hin, wodurch das freie Ende dieses Drahtes positiv, d. h. seiner eigenen Elektricität in bestimmtem Masse verlustig wird. Bringt man nun beide Drahtenden miteinander in Berührung, so ge-

*) Abhandlungen bei Begründung der königl. sächs. Gesellschaft der Wissenschaften. Leipzig 1846. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 193.

schiebt eine Ausgleichung dieser entgegengesetzt elektrischen Zustände. Das an dem negativen Drahtende angehäuften Elektricum dringt nämlich in die positive Spitze des anderen Drahtes ein, während der letztere von seinem eigenen E dem positiven Pol mittheilt. Hiermit findet aber eine neue Ladung der Kette statt, und die entgegengesetzt elektrischen Zustände stellen sich sowohl in der Kette selbst als auch im Schliessungsbogen wieder her.

In dem Augenblicke nun, wo die Elektricität des negativen Drahtes in den anderen überzugehen strebt, besteht eine Anziehung zwischen den Elementen des übergehenden E einerseits und dem positiven Drahtende anderseits; in dem Moment des Eindringens selbst aber findet eine Verdichtung und in Folge dessen eine Repulsion zwischen den Elementen des von der negativen Seite herübergekommenen Elektricum statt, während dieses weiter nach dem positiven Pol hindrängt, und die in dessen Nähe schon vorher verdichtete Elektricität sich auf dem letzteren verbreitet. Diese Repulsion wirkt zwar nach allen Richtungen, aber ihrer Gewalt ist vorzugsweise das die Elektricität des negativen Drahtes empfangende Ende des positiven ausgesetzt, an welchem die übergehende Elektricität verdichtet und von wo aus sie weiter nach der entgegengesetzten Seite hin verbreitet wird. Von hier aus werden denn auch, auf Grund derselben Repulsion, materielle Theilchen in den Raum fortgestossen, die in Folge der Anziehung, welche das an der negativen Spitze sich fortdauernd ansammelnde Elektricum ausübt, einen Zug nach dieser Seite hin erhalten können. Da das Elektricum auf der negativen Seite hervorbricht, so werden natürlich auch hier materielle Theilchen losgerissen; jene Repulsion am positiven Polende ist aber im Verein mit der grösseren Wärmeerregung, welche daselbst stattfindet, die Ursache von der hier beobachteten Auflockerung der Substanz, aus welcher dieses Ende besteht. Die Anziehung aber, welche das aus dem negativen Pol hervordringende Elektricum gegen die positive Seite hin ausübt, wird unter sonst geeigneten Umständen besonders da von bemerkbaren Folgen begleitet sein, wo zwischen den Polen eine Flüssigkeit eingeschaltet ist, deren Theilchen bei hinreichender Beweglichkeit ein zusammenhängendes Ganze bilden. Und hierher gehört die in neuerer Zeit von Wiedemann*) genauer untersuchte Be-

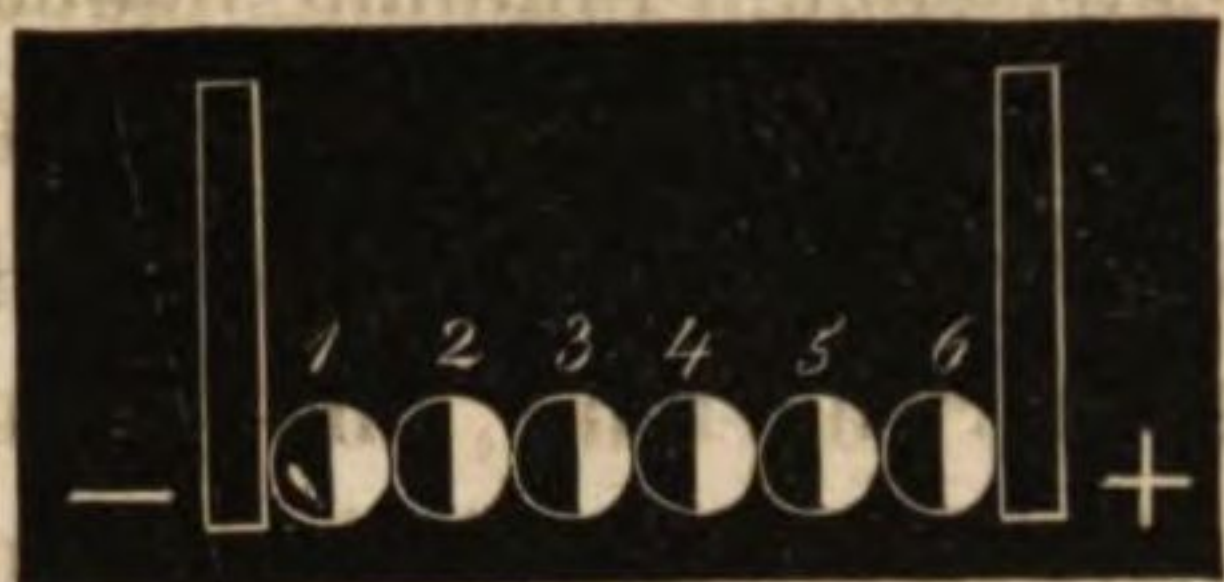
*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 321.

wegung der Theilchen tropfbarer Flüssigkeiten in der Richtung vom positiven zum negativen Pol. Durch die elektrische Anziehung, welche von dem letzteren herrührt, wird das hydrostatische Gleichgewicht der Flüssigkeit gestört, so dass eine Bewegung derselben von der positiven nach der negativen Seite erfolgen muss.

Bei der Annahme eines einzigen elektrischen Fluidums haben also die erfahrungsmässig gegebenen Verhältnisse der galvanischen Säule ihren Grund gewissermassen in einer Verschiebung des Elektriums von der positiven nach der negativen Seite hin, und wenn die Säule geschlossen wird, so setzt sich diese Verschiebung im Schliessungsbogen fort, aber vom negativen nach dem positiven Pol zu. Im Moment der Ausgleichung des elektrischen Gegensatzes suchen nun die Elemente des Elektriums in ihre Gleichgewichtslage, welche den gewöhnlichen Zustand der Körper bedingt, zurückzukehren, — ein Streben, das freilich, so lange die geschlossene galvanische Kette als solche existirt, sich nur momentan realisiren kann. Mit diesem Streben ist aber während der Ausgleichung eine Rückwirkung verbunden, welche dem Drange der Elektrizität im Schliessungsbogen entgegen, also von dem positiven nach dem negativen Pol hingekehrt ist. Die Massentheilchen des Leiters nun, indem sie die mechanische Gewalt dieser Rückwirkung auszuhalten haben, gerathen in eine schwingende Bewegung, welche eine Wärmeentwicklung, vorzugsweise von der positiven nach der negativen Seite hin, zur Folge hat. — Wir werden auf diesen Gegenstand später noch einmal zurückkommen.

60. Tauchen die beiden Poldrähte oder Polplatten einer galvanischen Kette in eine chemisch zusammengesetzte Flüssigkeit, so wird die an dem negativen Drahtende angehäuften Elektricität in diese Flüssigkeit einzudringen und das in derselben vorhandene Elektricum zu vertheilen, d. h. nach der entgegengesetzten Seite hin zu verdrängen suchen. Besteht aber die Flüssigkeit aus zwei heterogenen Bestandtheilen, so wird die Elektricität (am negativen Drahtende) den einen dieser Bestandtheile vorzugsweise ergreifen und dadurch eine besondere Anordnung derselben auf dem Wege zwischen beiden Drähten bewirken. Nehmen wir nun an, was höchst wahrscheinlich ist, dass nämlich nicht bloss grössere Massen von verschiedener materieller Beschaffenheit, sondern auch die kleinsten Theilchen ungleichartiger Stoffe durch gegenseitige Berührung in entgegengesetzte

elektrische Zustände gerathen, so wird, wenn wir uns beispielsweise Salzsäure (Chlorwasserstoff) zwischen den Polplatten eingeschaltet denken, in jedem kleinsten Massentheilchen dieser Flüssigkeit, das aus 1 Atom Chlor und 1 Atom Wasserstoff besteht, das Chloratom als negativ, das Wasserstoffatom als positiv elektrisch zu betrachten



sein. In nebenstehender Figur stelle jedes Kügelchen ein kleinstes Salzsäuretheilchen (Chlorwasserstoffmolecul) vor, und zwar die schwarze Hälfte das Wasserstoff-, die weisse das Chlor-Atom.

Die aus der negativen Polplatte hervordringende Elektricität wird also das Wasserstoffatom des nächsten Salzsäuretheilchens ergreifen und das mit ihm verbundene Chloratom nach der anderen Seite wenden, indem sie das dem letzteren adhärende Elektricum zurücktreibt. Dadurch gewinnt aber dieses Atom eine stärkere Affinität zu dem Wasserstoffelement des zweiten Salzsäuretheilchens, und wenn es dasselbe ergreift, so wird das betreffende Chloratom (2) nach der entgegengesetzten Seite gerichtet, während der von der negativen Seite herkommende elektrische Druck sich auf das letztere Atom überträgt und dessen Elektricum (nach dem positiven Pol hin) zu grösserer Spannung aufregt. Dies geht so fort bis zu dem letzten Massentheilchen, das mit der positiven Polplatte in nächster Berührung ist. Die Anordnung der Bestandtheile ist dann die in der Figur angegebene. Erfolgt nun die Entladung, so wird in demselben Augenblicke, wo die aus der negativen Platte hervordringende Elektricität dem zunächst gelegenen Salzsäuretheilchen seinen Wasserstoff entzieht, auch das Chloratom des die positive Polplatte berührenden Massentheilchens 6 frei werden, während zugleich das Chloratom des Theilchens 1 sich mit dem Wasserstoffatom von 2 und das Chlor von 2 mit dem Wasserstoff von 3 u. s. f. verbindet. Hiermit kehren die dazwischen liegenden Theilchen wieder in ihre gewöhnlichen elektrischen Verhältnisse zurück, freilich nur, um gleich darauf dieselbe Einwirkung aufs Neue zu erfahren. Und so wird dann die Flüssigkeit durch Wiederholung dieses Processes allmählig zersetzt, wobei die heterogenen Elemente jedes Massentheilchens Drehungen nach entgegengesetzten Richtungen vollführen. Da nun aber mit jeder einzelnen Entladung der Kette eine Ausscheidung der ungleichartigen Bestandtheile an den Polen verbunden ist, so wird die Menge der in einer gewissen Zeit

zersetzten Substanz offenbar proportional sein der Menge der Partialentladungen, welche innerhalb dieser Zeit stattfinden; oder, was dasselbe ist, die Quantität der zersetzten Flüssigkeit (in einer gegebenen Zeit) ist der durchströmenden Elektrizitätsmenge proportional. Nach der eben gegebenen Darstellung besteht der elektrische Strom nicht etwa blos in einem einseitigen Fließen der Elektrizität von dem negativen Pol der Kette nach dem positiven hin, sondern es wird auch die der Flüssigkeit eigenthümliche Elektrizität zu einer bestimmten Thätigkeit aufgeregt. Bei der Entladung der Kette dringt aus dem negativen Poldraht eine gewisse Quantität des Elektricums in die Flüssigkeit ein, aber eben so viel nimmt der positive Pol von der letzteren auf, während zugleich in der eingeschalteten Flüssigkeit eine elektrische Entladung von einem Massentheilchen zum anderen stattfindet. In diesem Sinne lässt sich nun streng behaupten das von Faraday aufgestellte Gesetz*), dass die Elektrizität, welche eine gewisse Menge von Substanz zersetzt, und diejenige, welche bei der Zersetzung derselben Menge entwickelt wird, einander gleich sind.

In ähnlicher Weise aber, wie die Salzsäure, kann auch jede andere chemisch zusammengesetzte Flüssigkeit durch den Strom zerlegt werden, falls nur deren verschiedene Bestandtheile (bei hinreichender Beweglichkeit) zwei ungleichartige Gruppen bilden können, welche dann der Einwirkung des Elektricums in verschiedenem Masse ausgesetzt sind.

Der beschriebene elektrochemische Process kann natürlich auch dann noch stattfinden, wenn der eine Poldraht der Kette mit der zu zerlegenden Flüssigkeit nicht unmittelbar, sondern durch Vermittelung eines anderen tropfbaren Körpers in leitender Gemeinschaft steht. Hierher gehört ein von Faraday angestellter Versuch. Man theile nämlich ein Glasgefäß von etwa 4 Zoll Durchmesser durch eine Glimmerplatte oben in zwei Fächer und giesse eine concentrirte Lösung von schwefelsaurer Magnesia hinein, bis sie ungefähr 1 Zoll über den unteren Rand der Scheidewand reicht. Alsdann giesse man in das eine Fach eine Schicht destillirten Wassers vorsichtig auf die Bittersalzlösung, so dass es sich mit dieser nicht mischt. Befindet sich nun in der Salzlösung eine Platinplatte, welche man

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIII. S. 481. 517.

mit dem positiven Pol einer starken Kette verbindet, während man eine andere, die mit dem negativen Pol der Kette verbunden ist, in horizontaler Lage bloß in das Wasser bringt, so verbreitet sich der von dieser Platte ausgehende elektrische Druck durch das Wasser in die Salzlösung und zerlegt diese in der angegebenen Weise. Die Magnesia erscheint dann immer noch auf der Seite der negativen Polplatte, nur nicht an ihr selbst, sondern an der Grenzfläche zwischen Wasser und Salzlösung.

Sind drei Gefässe der Reihe nach mit derselben Salzlösung gefüllt, und ist das mittlere Gefäss mit den beiden äusseren durch Glasröhren, die ebenfalls jene Lösung enthalten, oder durch angefeuchtete Asbestfäden verbunden, so hängt die Flüssigkeit durchgehend zusammen und die Elektrolyse geschieht ganz in derselben Weise, als wenn die Flüssigkeit in einem und demselben Gefässe zwischen den Poldrähren eingeschaltet wäre. In dem einen der äusseren Gefässe, worin der positive Draht steht, muss dann die Säure, in dem anderen das Alkali erscheinen. Wird dagegen die Verbindung der Gefässe durch Metalldrähte bewerkstelligt, so erscheinen in jedem Gefässe beide Bestandtheile der Flüssigkeit, und zwar auf der einen Seite die Säure, auf der entgegengesetzten das Alkali. Die Linien

a, b und c mögen drei Metalldrähte vorstellen, zwischen denen eine Salzlösung befindlich ist; a sei mit dem positiven Pol der Säule, c mit dem negativen in Verbindung. Dann wird der von diesem Pol herrührende elektrische Druck in dem Schliessungskreise eine Vertheilung der Elektricität veranlassen, die an den Drähten durch die bekannten Zeichen $+$ und $-$ angedeutet ist. Bei der Entladung wird aber die Elektrolyse demgemäss nothwendig so vorgehen, dass das Alkali an den negativen Enden der Drähte c und b, die Säure dagegen an den positiven Seiten von b und a auftritt.

61. Wenn also der elektrische Strom einer einfachen oder zusammengesetzten galvanischen Kette durch den flüssigen Zwischenleiter geht, so gibt er der chemischen Thätigkeit in demselben eine andere Richtung, indem er die ungleichartigen Bestandtheile desselben aus dem Zustande der chemischen Neutralisation herausversetzt, und den einen Bestandtheil dem positiven, den anderen dem negativen Pol der Kette zuwendet. Die Elektricität, indem sie weiter durch

die Metalle und den die letzteren verbindenden Leitungsdraht dringt, bringt zwar in diesen keine chemische Zerlegung, wie in der eingeschalteten Flüssigkeit, wohl aber eine Richtungsänderung oder eine Drehung in den Massentheilchen des Metalls hervor, so dass diese Theilchen, wenn sie zwei ungleichartige Elemente oder Atome enthalten, gleichfalls durch die Einwirkung der Elektrizität aus dem Zustande chemischer Neutralisation mehr oder weniger heraustreten, und somit freie Wirksamkeit nach aussen erlangen können. Ist nun die durch den elektrischen Strom bewirkte Anordnung der Mas-

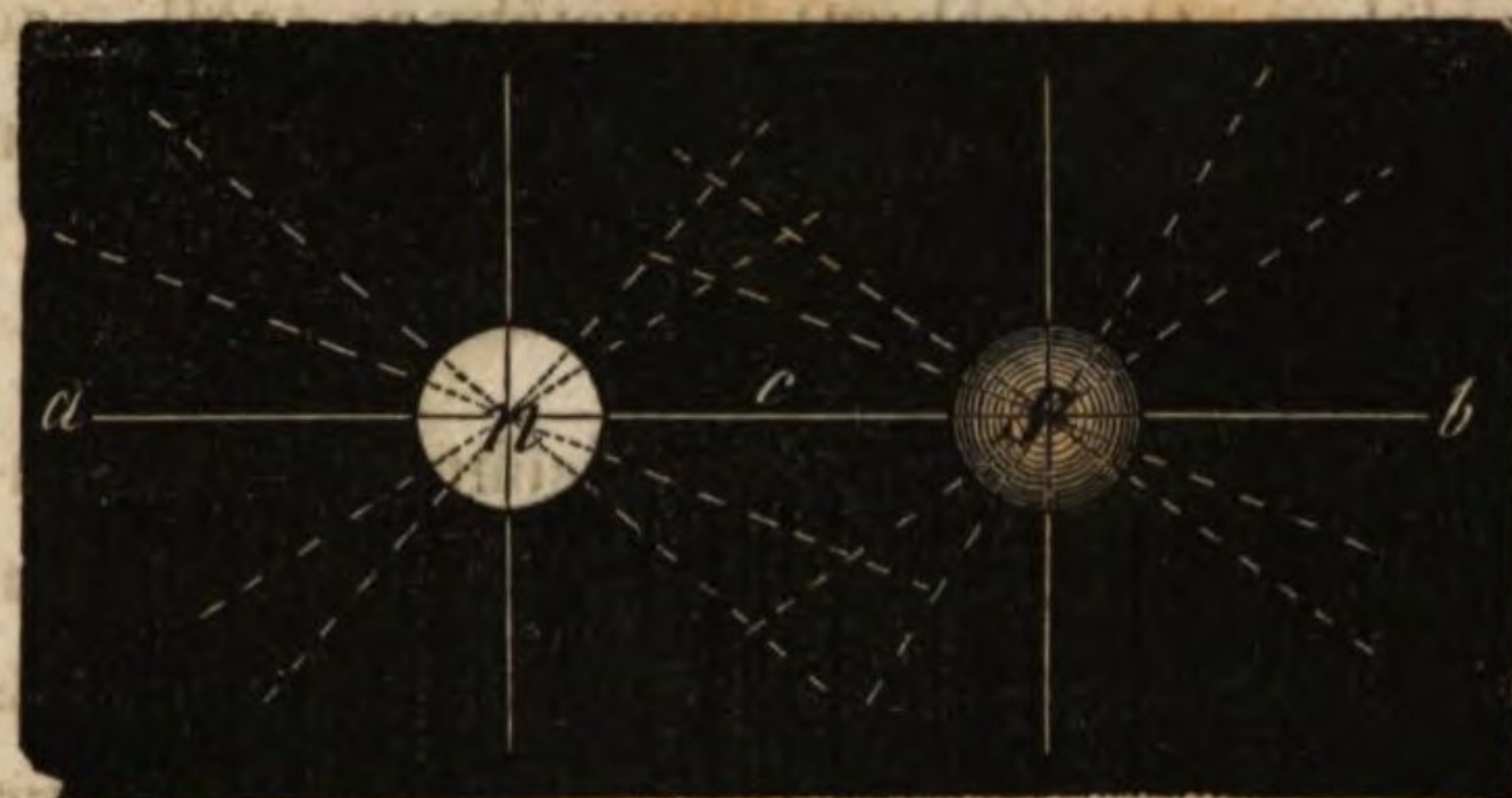


sentheilchen in jedem Querschnitte des Leiters ähnlich der in beistehender Figur, welche einen solchen Querschnitt bezeichnen soll, so stellt der Leiter seiner ganzen Länge nach einen Transversalmagneten dar.

Wir wollen jetzt sehen, wie die elektromagnetischen Fundamentalscheinungen, namentlich also das Umlaufen eines Magnetpols um den ganzen Umfang eines Stromleiters, sich auf Grund der bereits dargelegten Principien erklären lassen. Nach der Entwicklung im ersten Kapitel dieser Schrift besteht die magnetische Polarität in einer gewissen Abweichung der ungleichartigen Elemente der Massentheilchen aus der gewöhnlichen Gleichgewichtslage. Die chemische und magnetische Action erachten wir demgemäss im Wesentlichen als identisch, die Elektrizität im Acte des Strömens aber betrachten wir als die Ursache, welche die ungleichartigen Elemente der Körper, falls sie letztere nicht zerlegen kann, wenigstens aus dem Zustande chemischer Neutralisation in den Zustand freier Wirksamkeit nach aussen versetzt. Dass nun die Elektrizität sehr wohl im Stande ist, in allen Körpern, welche sie durchströmt, Molecularveränderungen hervorzubringen, unterliegt wohlbegründeten Thatsachen zufolge, die wir bereits angeführt haben, keinem Zweifel.

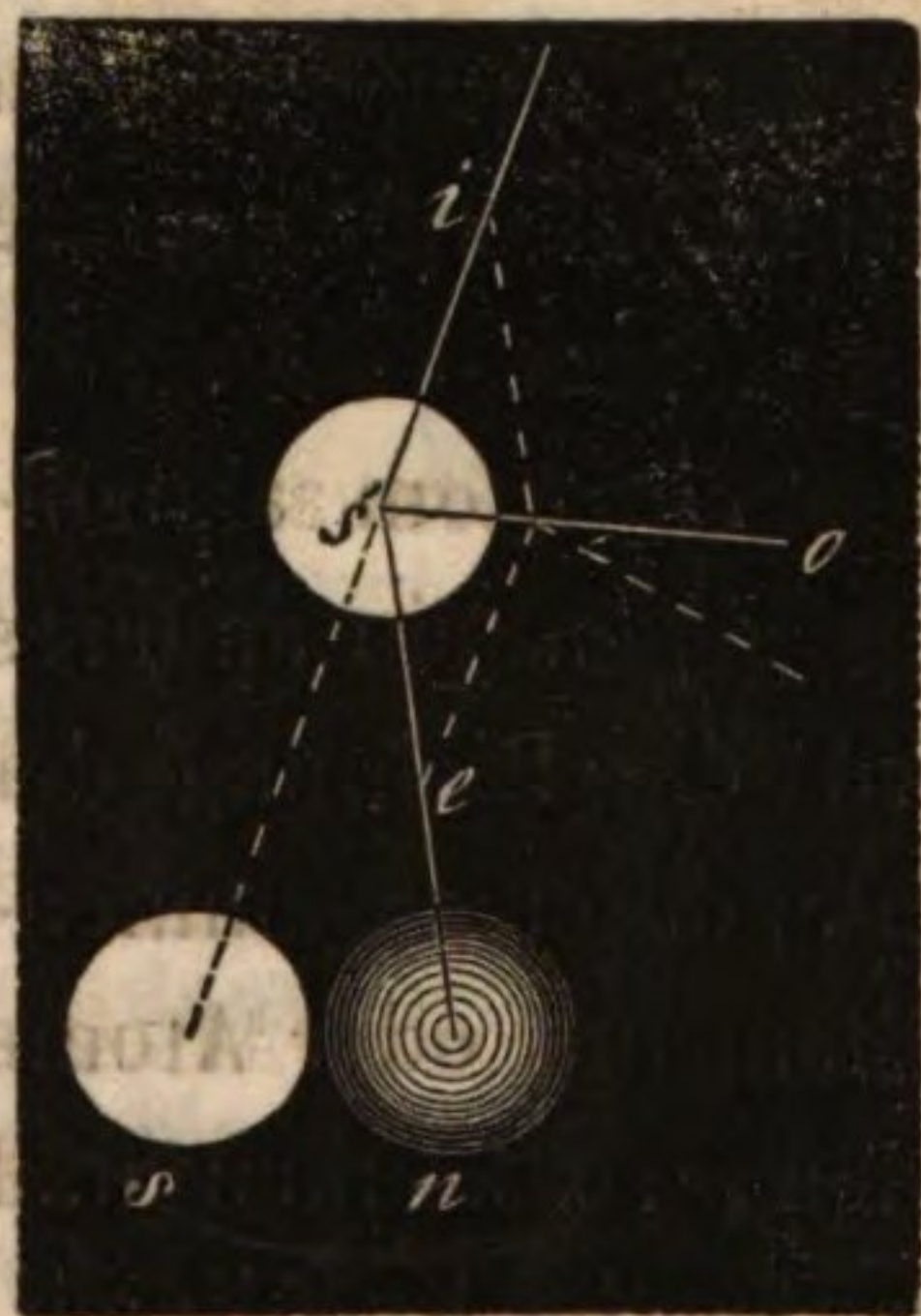
Zunächst nun versteht sich von selbst, dass ein Atom als solches die Fähigkeit besitzt, nach jeder Richtung gegen ein anderes zu reagiren. In jedem bestimmten Falle wird die Richtung der Reaction diejenige sein, in welcher es mit einem anderen zusammentrifft. Sind aber einmal zwei ungleichartige Elemente oder Atome zu einem Massentheilchen miteinander verbunden, so können und müssen wir verschiedene Richtungen, wenn man will, Kraftlinien,

unterscheiden, nach welchen die freie Wirkung dieser Elemente gegen ein anderes gleichartiges oder ungleichartiges Element nicht von gleicher Stärke sein wird. Wir wollen jetzt die entgegengesetzten Elemente eines Massentheilchens zu grösserer Deutlichkeit in der figürlichen Darstellung etwas auseinanderrücken, uns dieselben aber durch eine feste gerade Linie untereinander verbunden denken, um damit ihre chemische Vereinigung symbolisch anzudeuten. Nun folgt aus dem Begriff der gegenseitigen Reaction, dass die freie Wirksamkeit dieser Elemente nach aussen in derjenigen Richtung am schwächsten sein wird, in welcher sie selbst am stärksten gegen einander reagiren, also hier in der Richtung von n nach s und in der umgekehr-



ten von s nach n . Dagegen wird ihre freie Wirkung nach aussen am stärksten hervortreten in den Richtungen, welche den vorher bezeichneten gerade entgegengesetzt sind, d. h. von n nach a

und von s nach b . Denkt man sich ferner durch den Mittelpunkt eines jeden Elements ein Loth auf die Axe ab gezogen, so nimmt die freie Wirksamkeit unserer Elemente, von diesen Vertikalen an gerechnet, nach den Linien na und sb hin allmähig zu, dagegen nach nc und sc hin allmähig ab. Stellen wir uns aber ein Element oder Atom s' in einem gewissen Abstände von dem Massentheilchen vor, so ergibt sich das Resultat der gegenseitigen Einwirkung leicht mit Hilfe des Parallelogrammes der Kräfte. Die Abstossung zwischen



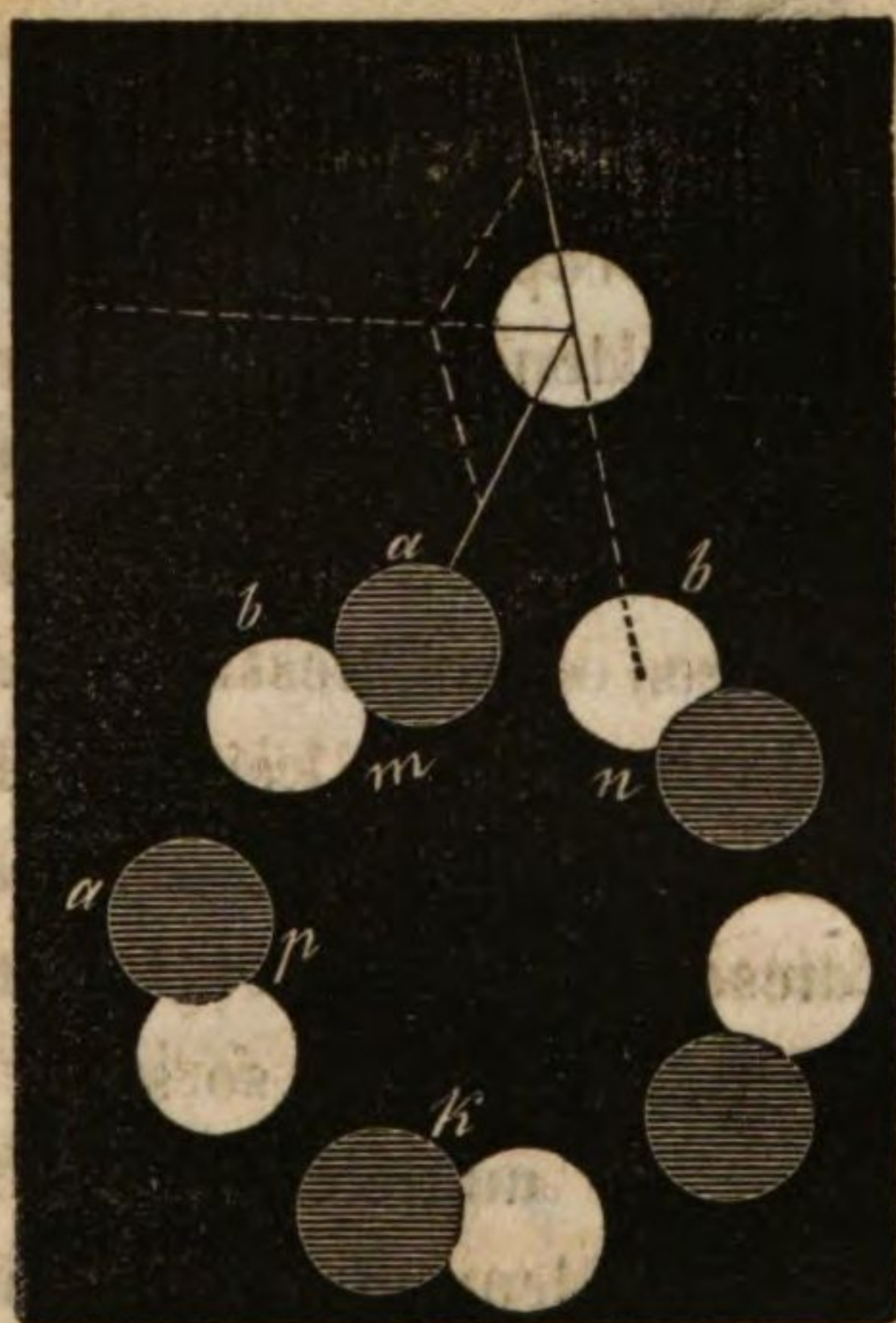
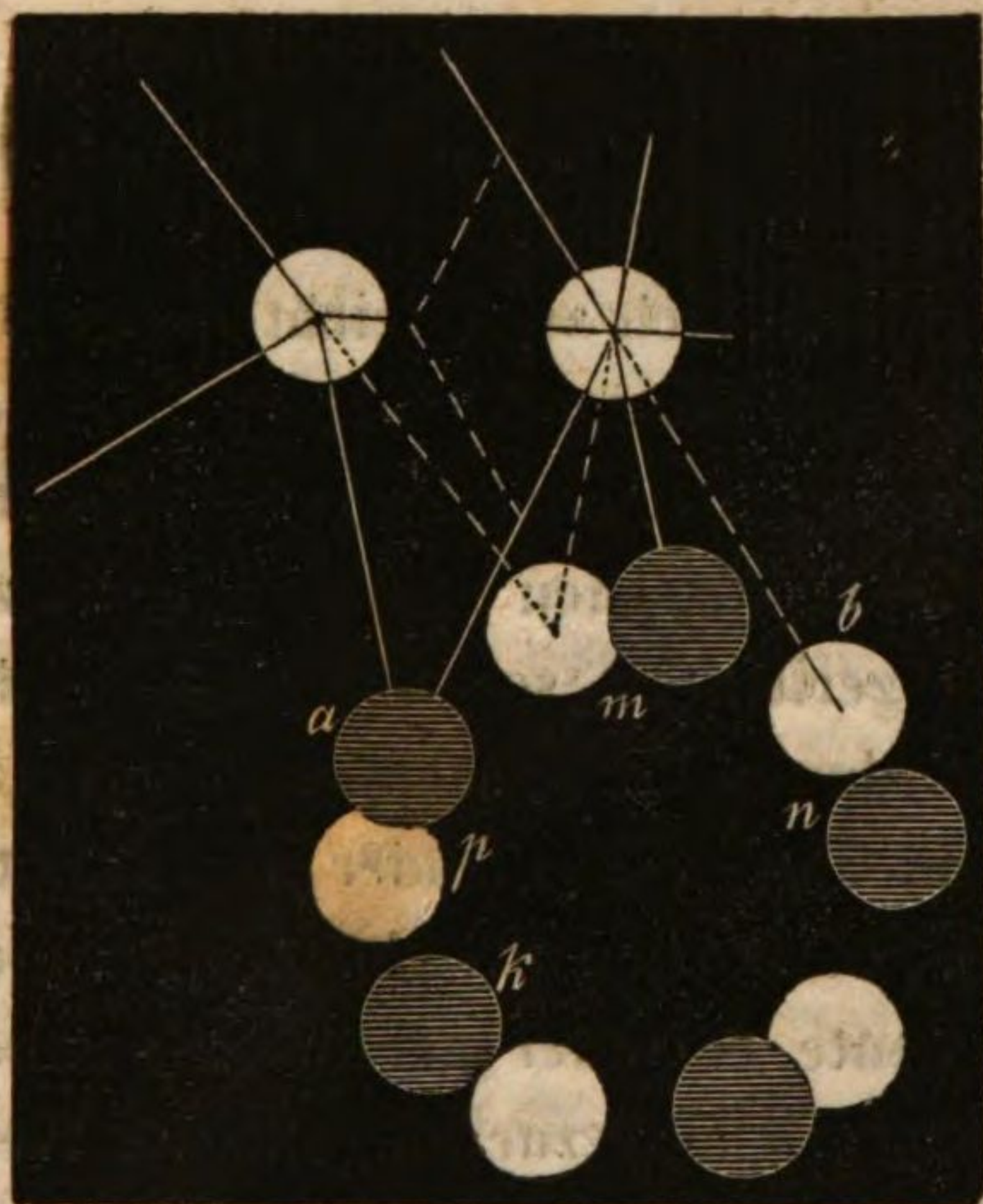
den beiden gleichartigen Elementen sei der Grösse und Richtung nach dargestellt durch die Linie $s'i$, die Anziehung zwischen n und s' durch $s'e$; dann ist so die Richtung, in welcher das Element fortschreitet. Diese Richtung ändert sich aber beständig, da in Folge der Bewegung die von dem gleichartigen Element des Massentheilchens ausgeübte Abstossung stetig ab-, die Anziehung von n dagegen fortwährend zunimmt, so dass das Element s' dem Massentheilchen immer näher

kommt und sich endlich an das ungleichartige Element desselben anlegt. Mit Rücksicht auf diese einfachen Demonstrationen erklären sich nun leicht die elektromagnetischen Fundamentalscheinungen.

Es befinde sich in der Nähe des Querschnitts eines Stromleiters der Nord- oder Südpol einer Magnetnadel, welcher dem einen oder anderen Element der im Querschnitte zur freien Wirksamkeit gelangten Massentheilchen mehr oder weniger gleichartig ist. Wo sich nun auch der Pol befinden mag, immer wird eine Rotation desselben nach einer bestimmten Richtung erfolgen müssen. Wir wollen hier zwei Lagen besonders fixiren. Einmal nämlich (Fig. I.) mag sich der Pol gerade über einem Massentheilchen m , das andere Mal in gleicher Entfernung von je zwei solchen Theilchen befinden. Im ersten Falle werden die Elemente des Massentheilchens m , gemäss der eben gegebenen Darstellung, wirken und den Pol für sich allein nach rechts

I.

II.

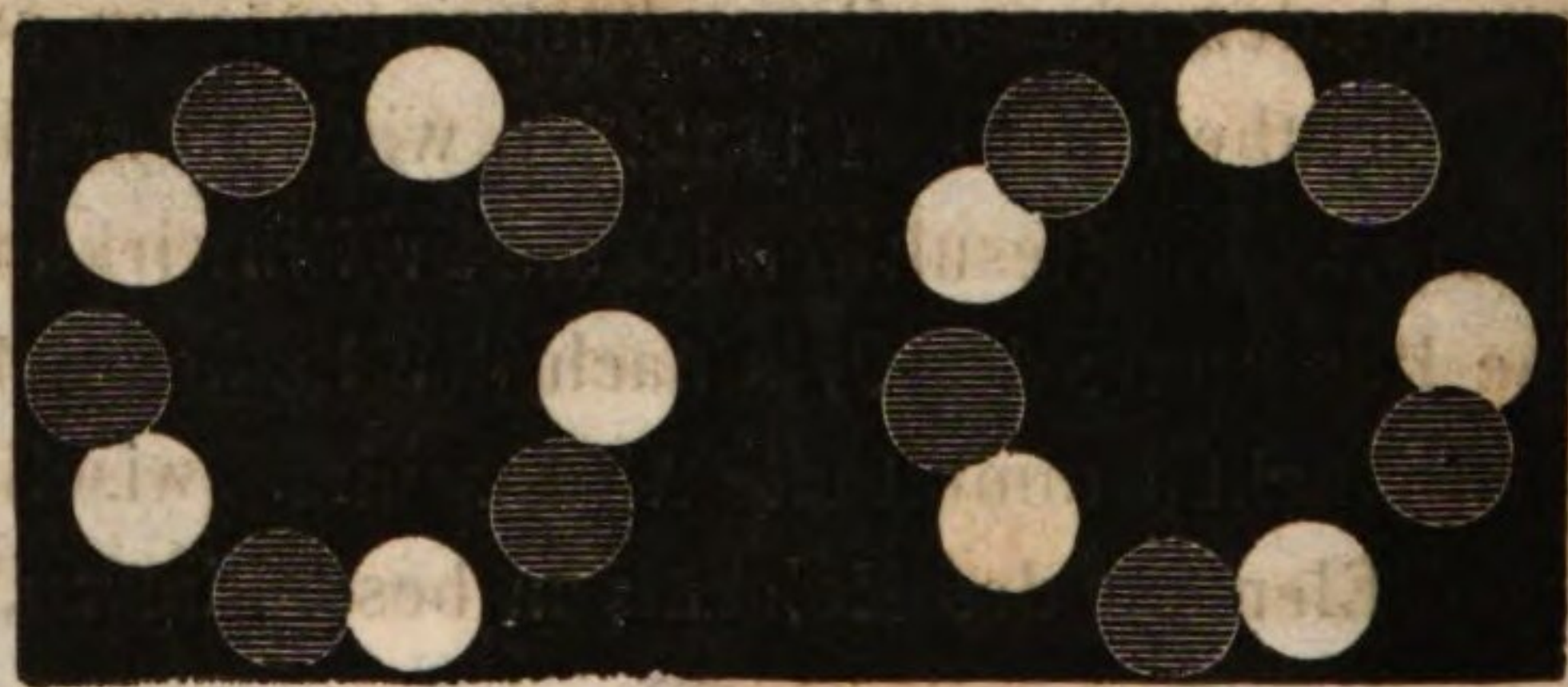


treiben. Nun kommen aber noch hinzu die Wirkungen der Massentheilchen p und n , und zwar vorzugsweise die der Elemente a und b , deren Einfluss nach den obigen Bemerkungen grösser sein wird als derjenige des Massentheilchens m . Bilden wir also nach dem Parallelogramm der Kräfte die Resultirende dieser Einwirkungen, so erhellet, dass eine Bewegung des Pols nach der Linken erfolgen muss. Während dies geschieht, nimmt die Abstossung zwischen ihm und dem gleichartigen Element des Molecüls m beständig zu, was ebenso

bis zu einer gewissen Grenze von der Anziehung des ungleichartigen Elements a von p gilt, und indem nun die Massentheilchen m , p , k dieselben Wirkungen ausüben, wie vorher n , m , p , ist der Pol genöthigt, seine Kreisbewegung um den Stromleiter in der einmal angenommenen Richtung fortzusetzen. Man sieht jetzt sehr leicht ein, dass das nämliche geschehen wird, wenn der Pol anfänglich die Lage Fig. II. hat. Zunächst ist die Richtung der Bewegung dieselbe wie vorher, und wenn nun der Pol nach links fortschreitet, so nimmt nach dem Obigen die Abstossung von b (in n) bis zu einer bestimmten Grenze hin zu, dagegen die Anziehung von Seiten des a in m ab, während er zugleich in die Anziehungssphäre des dem Massentheilchen p zugehörigen Elements a hineingeräth. Die volle Abstossungskraft des Elements b in m kann sich aber erst dann geltend machen, wenn der Pol an dem Massentheilchen m eben vorübergeschritten ist, wo dann die Abstossung desselben Elements b auf die Fortbewegung in dem anfänglichen Sinne wirkt. Dass die Rotation des Südpols in der entgegengesetzten Richtung geschehen muss, ist nunmehr ohne Weiteres klar, wenn man sich an die Stelle des weissen Kügelchens, das unseren Nordpol vorstellte, ein schwarzes denkt.

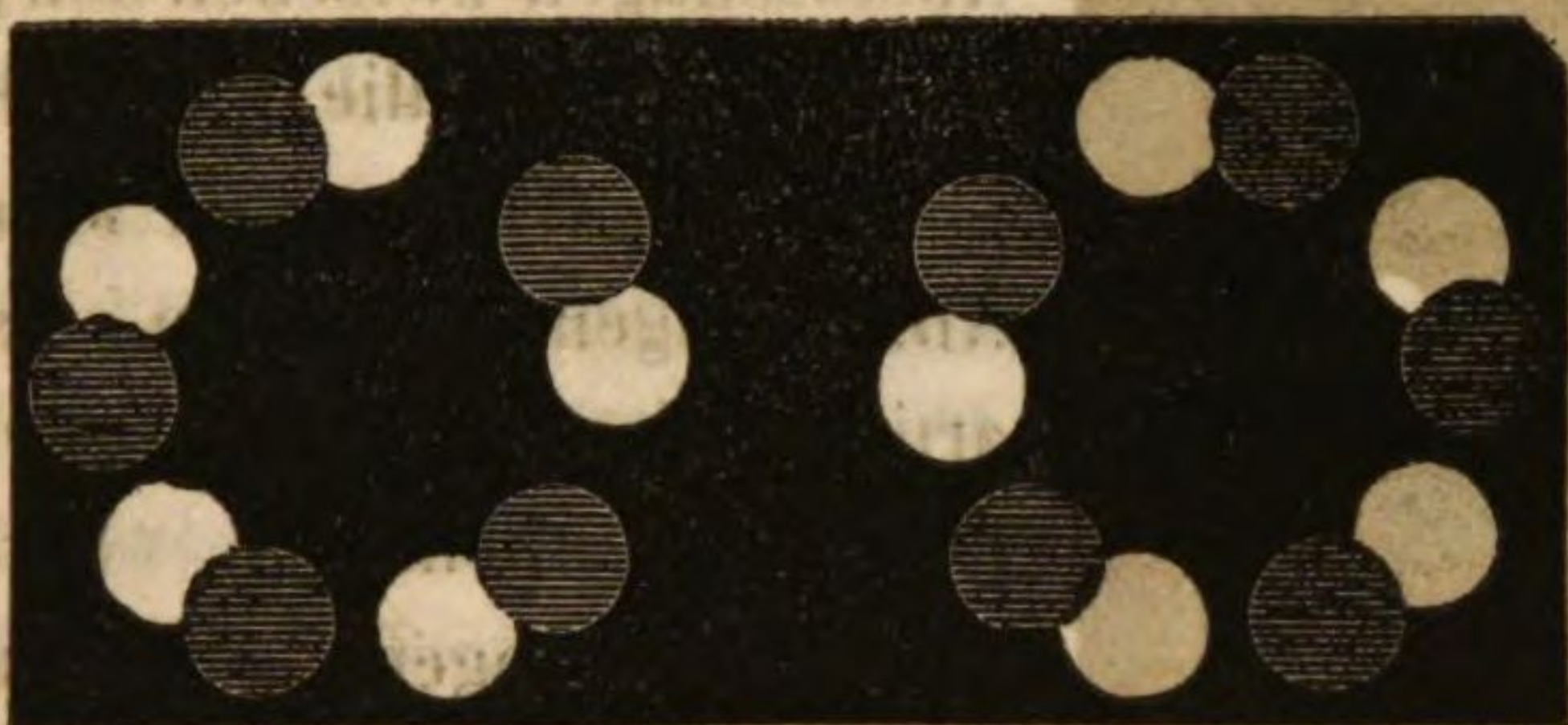
Nach denselben Principien erklären sich auch leicht die gegenseitigen Anziehungen und Abstossungen zweier Leiter, je nachdem der elektrische Strom dieselben in gleichen oder entgegengesetzten Richtungen durchfliesst. Sind die elektrischen Ströme in zwei zueinander parallelen Leitern gleich gerichtet, so wird auch in den Querschnitten beider Leiter die Anordnung der Massentheilchen ringsum dieselbe sein. Vergleicht man aber die einander zugewandten Seiten miteinander, so sieht man, dass eben bei gleicher Stromesrichtung die ungleichartigen Elemente einander gerade gegenüberliegen, was denn, wie gewöhnlich, Anziehung zur Folge hat. Wenn dagegen die Ströme in beiden Leitern entgegengesetzte Richtungen

I.



haben, so ist die Anordnung der Massentheilchen wie in Fig. II., so dass also die gleichartigen Elemente der beiden Leiter einander zugekehrt sind, woraus Abstossung hervorgeht.

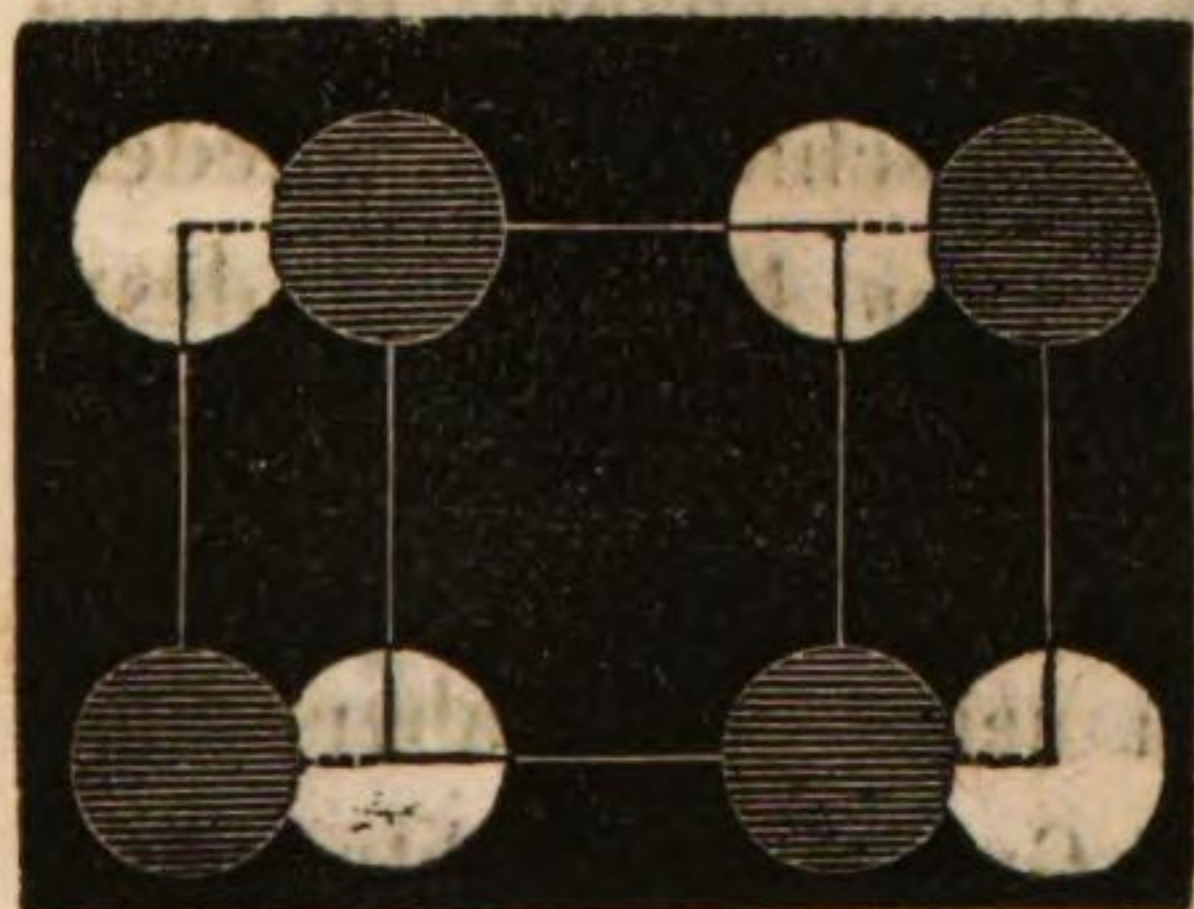
II.



Vielleicht möchte der Eine oder Andere, der eben nur die Figuren im Auge hat, glauben, durch eine Verschiebung der beiden Stromleiter könne es leicht geschehen, dass, wie auch die Richtung des Stromes in beiden sein möge, bald die gleichartigen, bald die ungleichartigen Elemente einander gegenüber zu liegen kämen. Dem wird jedoch nicht so sein. Denn in der Wirklichkeit ist jedes kleinste Massentheilchen in der angegebenen Weise polarisirt, und wie man nun auch beide Stromleiter gegen einander verschieben mag, immer wird ein Massentheilchen des einen Leiters einem solchen des anderen gegenüberliegen, so dass denn auch, je nach der Richtung des Stromes in beiden Leitern, entweder die gleichartigen oder die ungleichartigen Elemente je zweier Massentheilchen einander zugekehrt sind.

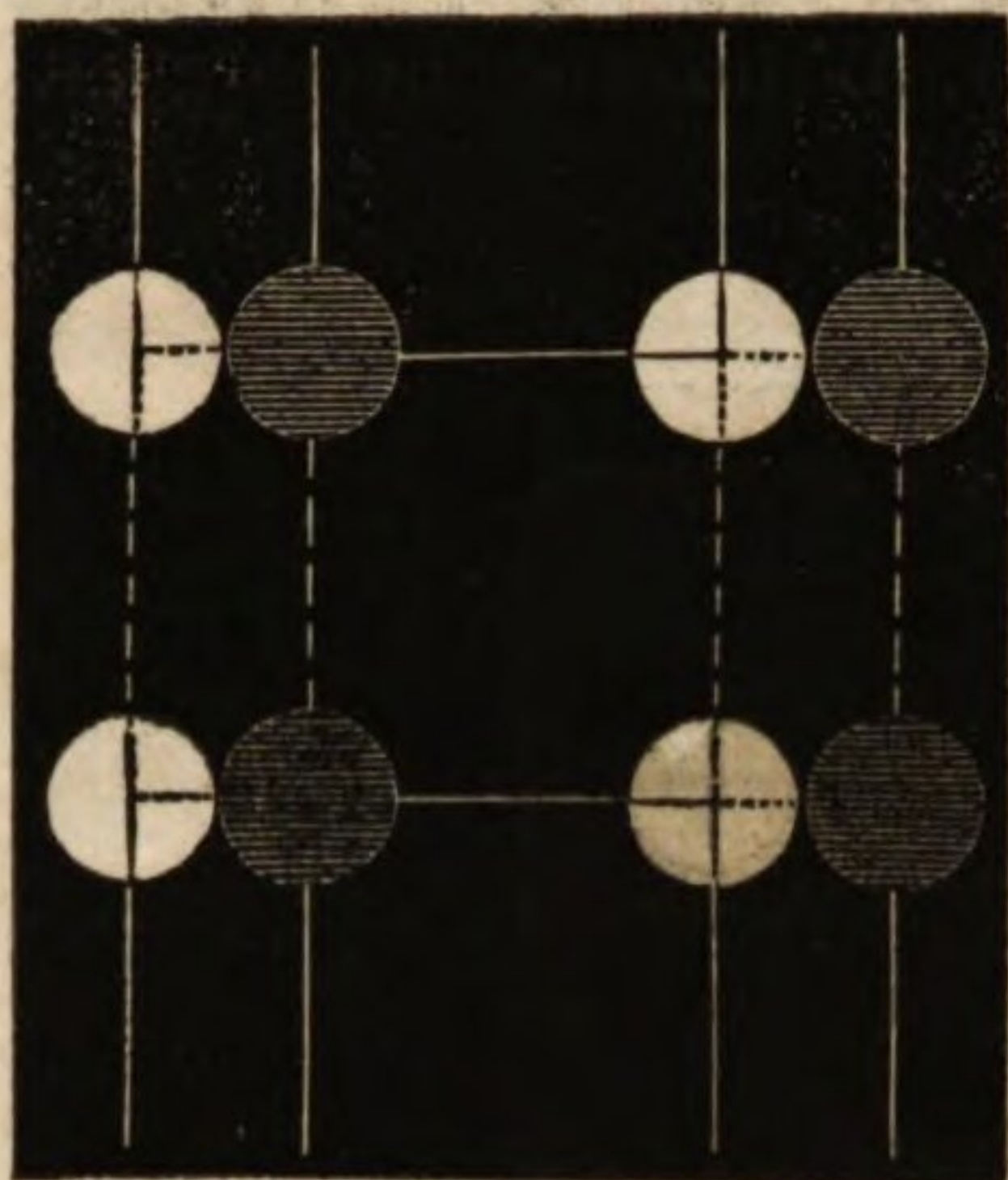
Um nun auch hier noch die beiden Hauptfälle besonders hervorzuheben, wollen wir uns zwei Massentheilchen des einen Stromleiters in einiger Entfernung gegenüber denken zweien Theilchen des anderen Leiters. Bei gleicher Stromesrichtung, also im Falle der

I.



Anziehung, gilt Fig. I., für die Abstossung umstehende Fig. II., wo wir uns die Massentheilchen eines und desselben Leiters durch feste gerade Linien miteinander verbunden denken. Je zwei einander gegenüberliegende Elemente wirken nun nach geraden Linien, die zueinander parallel sind, so dass die Resultirende

II.



der Anziehungen gleich der Summe derselben ist, was ebenso Fig. II. für die Resultirende der Abstossungen gilt. Die Resultirende der Anziehungen ist aber hier gewiss grösser als die seitlichen Abstossungen zwischen den gleichartigen Elementen und die Resultirende der Abstossungen (II.) grösser als die seitlichen Anziehungen zwischen den ungleichartigen Elementen der gegenüberliegenden Massentheilchen. Da endlich im Sinne der Längenausdehnung eines Leiters oder vielmehr in der Richtung des

elektrischen Stromes die gleichartigen Elemente des Leiters einander zugekehrt sind, so wird zwischen denselben eine Abstossung stattfinden, so dass bewegliche Stücke eines und desselben geradlinigen Stromleiters unter geeigneten Umständen von einander zurückfahren müssen.

Ein von der Elektricität durchströmter Leiter stellt also wirklich einen Magneten dar, in so fern die ungleichartigen Elemente seiner Massentheilchen durch Einwirkung der Elektricität nach bestimmten Richtungen auseinandertreten. Hat nun der Schliessungsdraht einer galvanischen Kette oder Säule die Form einer Spirale, und befindet sich innerhalb der letzteren ein Eisenstab, so werden die polarisirten Massentheilchen der ersteren direct auf die Massentheilchen des Eisens einwirken und den Elementen der letzteren eine entsprechende Anordnung zu ertheilen streben, wodurch denn das Eisen selbst, so weit dieses Bestreben Erfolg hat, magnetisch wird.

62. Die magnetische Wirkung der Elektricität muss wie ihre chemische der Stromstärke proportional sein. Die magnetische Polarität der Massentheilchen (des Stromleiters) ist gewiss bedingt durch die Menge der Elektricität, welche in der Kette überhaupt, in Folge des elektromotorischen Verhältnisses ihrer verschiedenen Glieder, aufgeregt ist. Je grösser die elektromotorische Kraft ist, desto stärker werden die ungleichartigen Bestandtheile eines jeden Massentheilchens auseinandertreten, und um so beträchtlicher wird ohne Zweifel ihre freie Wirksamkeit nach aussen sein. Soll aber diese Polarität in demselben Masse, worin sie auf Grund der elektromoto-

rischen Kraft überhaupt hervortreten kann, fortdauern, so ist es erforderlich, dass die Störung des elektrischen Gleichgewichts hinreichend oft erneuert wird, oder dass die einzelnen Partialentladungen der Kette möglichst rasch aufeinanderfolgen. D. h. die magnetische Wirkung des Stromes wird zweitens von seiner Geschwindigkeit abhängig sein.

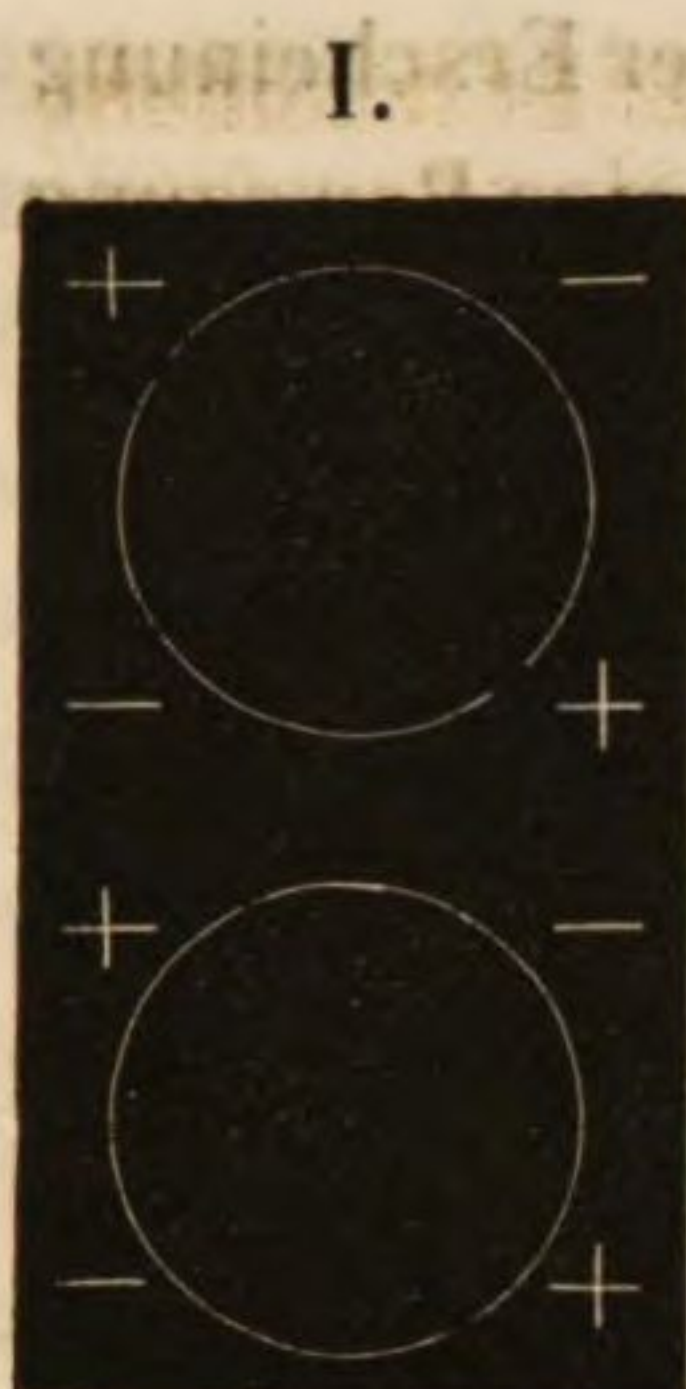
Die Massentheilchen des Stromleiters erleiden nun im ersten Act ihrer Magnetisirung, indem die Elektrizität ihren Elementen eine bestimmte Richtung zu verleihen strebt, gewissermassen einen Stoss. Mit diesem letzteren kann zwar eine Wärmeerregung verbunden sein, aber eine dauernde Wärmequelle, so lange der Strom durch den betreffenden Leiter hindurchgeht, können wir darin noch nicht finden. Wir haben indessen (Seite 145) hervorgehoben, dass die Elemente des Elektricums im Moment der Entladung in ihre anfängliche Gleichgewichtslage zurückzukehren streben, und dass dieses Streben mit einer Rückwirkung verbunden ist, die von der positiven nach der negativen Seite hin sich fortpflanzt. Hierdurch geschieht es nun, dass die Massentheilchen des Stromleiters von Seiten des Elektricums entgegengesetzte Einwirkungen erfahren, so dass sie in einen gewissen schwingenden Zustand gerathen, dessen Folge eben die Wärmeentwicklung ist. Die letztere wird aber um so energischer sein, je grösser die Elektrizitätsmenge ist, welche vermöge der elektromotorischen Kraft der Kette in dieser überhaupt aufgeregt wird, weil dann auch die Einwirkung auf die Massentheilchen des Leiters um so stärker ist. Alsdann kommt es noch darauf an, dass der schwingende Zustand in einer gegebenen Zeit möglichst oft erneuert werde, und dies wird um so öfter geschehen, je schneller die einzelnen Partialentladungen der Kette aufeinander folgen, oder, was dasselbe, je kürzer die Entladungszeit, oder endlich auch, je grösser die Geschwindigkeit der Elektrizität ist. So weit ist also die Wärmeentwicklung von denselben Factoren abhängig wie die chemische und magnetische Wirkung des elektrischen Stromes. Es kommt aber hier noch ein dritter Factor in Betracht, der den Einfluss der materiellen Beschaffenheit des Stromleiters auf die Wärmeentwicklung charakterisirt. Die schwingende Bewegung der Massentheilchen nämlich, welche die Wärmeentwicklung bedingt, rührt nach dem Obigen von der Einwirkung der elektrischen Elemente auf dieselben her. Zunächst sind es die Elemente des Elektricums, welche (die

Massentheilchen in der Form von Sphären einhüllend) abwechselnd die Gleichgewichtslage verlassen und in dieselbe zurückzukehren streben. Diese Bewegung überträgt sich nun auf die Massentheilchen des Leiters, und zwar in um so grösserer Masse, je beharrlicher die Elemente des E um die Massentheilchen sich gruppiert haben, oder je stärker die elektrischen Sphären den letzteren adhären. Die Wärmeentwicklung wird also hiernach, der Erfahrung gemäss, auch um so bedeutender sein, je grösser der Widerstand ist, welchen der Leiter dem elektrischen Strome, d. h. der Störung des elektrischen Gleichgewichts entgegensetzt. —

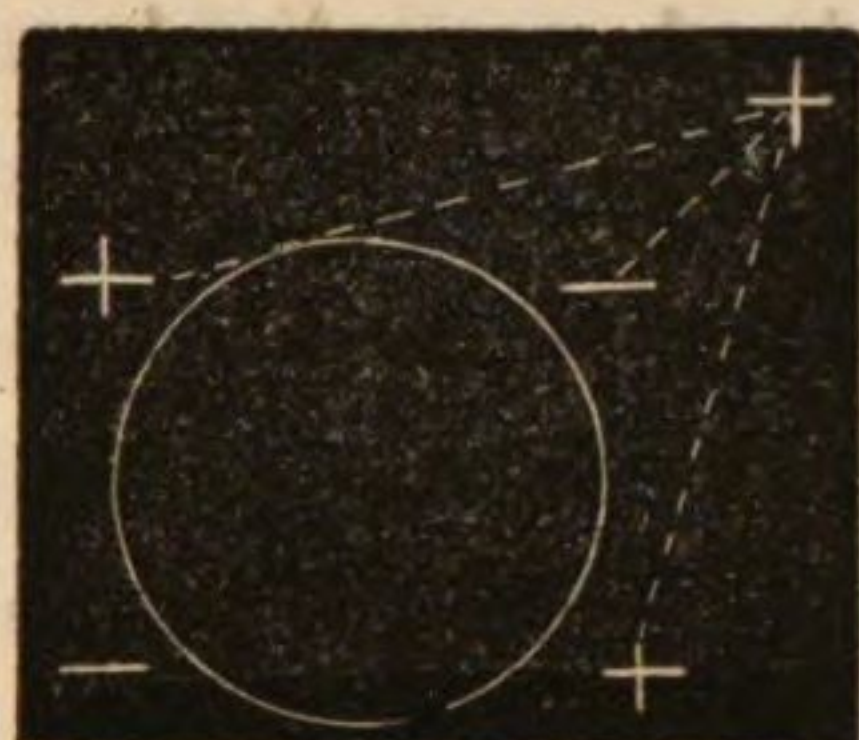
63. In der Absicht, die elektromagnetischen Fundamentalscheinungen zu erklären, hat man verschiedene, unter dem Namen des Transversalmagnetismus bekannte Ansichten aufgestellt, die jedoch gewissermassen alle in der Annahme übereinkommen, dass die Elektrizität, wenn sie einen Leiter durchströmt, das im neutralen Zustande vorhandene, sogenannte magnetische Fluidum in seine beiden entgegengesetzten Bestandtheile zerlege, dergestalt, dass der nordpolare (positive) Bestandtheil nach der einen, der südpolare (negative) nach der anderen Seite hin zu liegen komme. So betrachtete G. G. Schmidt*) den elektrischen Leitungsdraht als einen einfachen Transversalmagneten, der an seinen beiden Seiten seiner ganzen Länge nach an der einen Seite nordpolar, an der anderen südpolare sei. Ein derartiger Transversalmagnet zeigt zwar ähnlich, wie ein Stromleiter, Ablenkungen der Magnetnadel; dieselben geschehen aber stets nach derselben Richtung, mag man nun die Längsaxe desselben über oder unter die Nadel bringen. Auch erklärt dieser bipolare Transversalmagnetismus weder die Rotation eines Magnetpols um einen vertikalen Leitungsdraht, noch die Wirkung zweier Stromleiter aufeinander. V. Althaus**) stellte deshalb die Theorie des sogenannten tetrapolaren Transversalmagnetismus auf, nach welcher in jedem Querschnittsumfange des elektrischen Leiters vier magnetische Pole existiren sollen, von denen die beiden positiven, wie auch die beiden negativen einander diametral ge-

*) Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 1. Bd. LXXIV. S. 265.

**) Versuche über den Elektromagnetismus. Heidelberg 1821. 8.



I. gegenüberliegen. Diese Ansicht erklärt nun leicht die wechselseitigen Einwirkungen zweier Leiter, je nachdem der Strom in denselben gleiche oder entgegengesetzte Richtung hat, wie aus nebenstehender Figur sogleich erhellet, welche die Querschnitte zweier Leiter für den Fall gleicher Stromesrichtung darstellt. Dagegen ist sie unvermögend, die Rotation eines Magnetpols um den ganzen Umfang eines Leiters zu erklären, indem sie keinen Grund dafür angibt, warum diese Rotation stets nach einer bestimmten Richtung stattfindet. Auch dies erkennt man ohne Weiteres aus der Ansicht der Figur II., wenn man sich über dem Querschnitte



II. des Leiters etwa den positiven Pol einer Magnetnadel denkt und nun die Einwirkungen der Pole im Umfange des Leiters in Betracht zieht. Sobald nämlich jener Pol in die Richtung der beiden gleichnamigen Pole (— oder +) des Leiters gekommen ist, ist gleich viel Grund für die Bewegung nach der einen oder anderen Seite hin vorhanden. Der tetrapolare Magnetismus erklärt also nicht die vollständige Rotation des Magnetpols um den Leiter, und an der Erklärung dieser Fundamentalerscheinung scheitern auch sämtliche Modificationen dieser Theorie, wie sie von Precht I*), Seebeck**) und Pohl***) ausgeführt worden sind.

Nach unserer Theorie nimmt jedes Massentheilchen des Leiters durch Einwirkung des elektrischen Stromes magnetische Polarität an, und alle in irgend einem Querschnitte gelegenen Massentheilchen bilden zusammen einen Transversalmagneten, der aber nirgends einen Indifferenzpunkt besitzt. Jedes polarisirte Massentheilchen wirkt auf gleiche Weise, aber freilich, je nach seiner Lage gegen einen in der Nähe befindlichen Magnetpol, in verschiedenem Masse.

64. Nachdem Oersted die Ablenkung der Magnetnadel durch den Schliessungsdraht einer galvanischen Kette entdeckt hatte, stellte

*) Gilb. Ann. Bd. LXVII. S. 159. Bd. LXVIII. S. 187. 203; Schweigg. Journ. Bd. XXXIII. S. 399.

**) Berl. Denkschriften 1820 — 21. S. 355 ff.

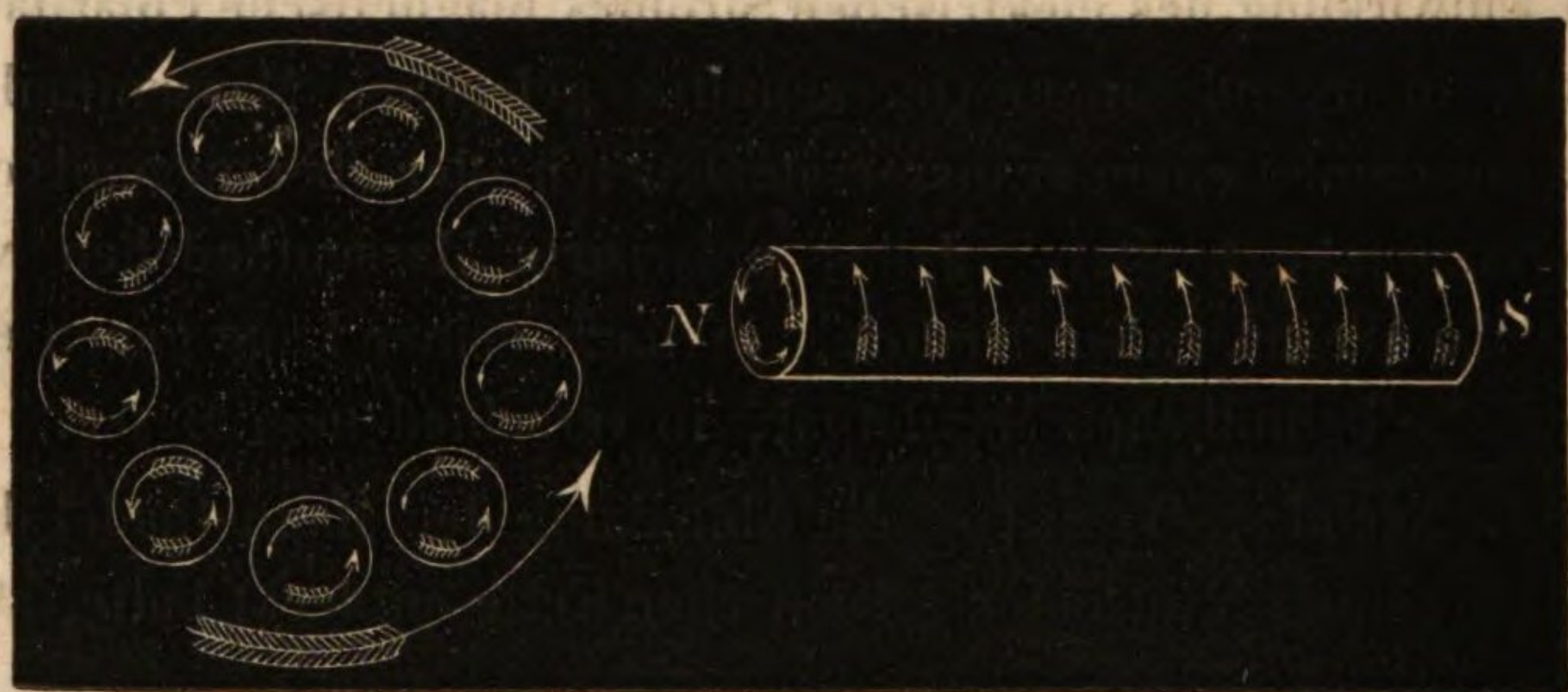
***) Gilb. Ann. Bd. LXIX. S. 191. Bd. LXXI. S. 47. Bd. LXXIII. S. 259.

er auch eine allerdings sehr ungenügende Theorie dieser Erscheinung auf, indem er eine wirbel- oder vielmehr schraubenförmige Bewegung zweier entgegengesetzt elektrischer Fluida um den Schliessungsdraht annahm. Die vollständigste Theorie aber, welche auf der Voraussetzung einer Identität der Elektrizität und des Magnetismus beruht, und von O e r s t e d gewissermassen als eine Erweiterung der seinigen betrachtet wurde, hat A m p è r e aufgestellt.

Wir wissen, dass ein von der Elektrizität durchströmter cylindrischer Schraubendraht sich auf ähnliche Weise wie ein zweipoliger (bipolarer) Magnet verhält. Hierauf gestützt nahm A m p è r e an, dass auch die Polarität der gewöhnlichen Magnete in elektrischen Strömen begründet sei, welche die einzelnen Massentheilchen umkreisen und so in sich selbst zurückkehren. Eine unendlich dünne Magnetnadel ist hiernach als ein System geschlossener, unter sich paralleler Ströme zu betrachten, durch deren Bahnebenen die Axe der Nadel senkrecht hindurchgeht; und ein Magnetstab ist ein Inbegriff solcher gleich langer, paralleler Nadeln. Bezeichnet Fig. I. den Querschnitt eines Magnets, so kann man durch die Kreise die elektrischen Ströme vorstellen, welche die Massentheilchen umkreisen. Die Gesamtwirkung dieser elementaren Ströme ist aber gleich der Wirkung eines einzigen Stromes, der den Querschnitt in der Richtung der äusseren Pfeile umfliesst. Hiernach würde Fig. II. einen linearen Magneten darstellen, dessen Südpol nach einem bekannten

I.

II.



Gesetze, welches für die Wirkung desselben auf einen kreisförmigen Stromleiter gilt, sich an demjenigen Ende befindet, wo die elektrischen Ströme, wenn dasselbe von vorn betrachtet wird, wie die Zei-

ger einer Uhr, fliessen, so dass dann der Nordpol natürlich am entgegengesetzten Ende liegt. Demgemäss müssten nun auch die Pole eines gewöhnlichen Magneten an den äussersten Enden liegen, während sie doch thatsächlich mehr oder weniger davon, nach der Mitte hin, abstehen. Ampère nahm deshalb an, dass die Ebenen der kleinen kreisförmigen Ströme nicht ganz senkrecht auf der Magnetaxe ständen, sondern vermöge ihrer gegenseitigen Einwirkung eine schiefe Stellung erlangten, welche namentlich an den Enden des Stabes von Bedeutung wäre. Nach dieser Hypothese hat auch der Erdmagnetismus seinen Grund in elektrischen Strömen, welche die ganze Erde dem scheinbaren Laufe der Sonne gemäss von Ost nach West, parallel mit dem magnetischen Aequator, umkreisen, und deren resultirende Kraft durch einen einzigen Strom im magnetischen Aequator vorgestellt werden kann. Um aber das Magnetisiren des weichen Eisens zu erklären, werden in diesem ebenfalls elektrische Ströme angenommen, die im gewöhnlichen Zustande alle möglichen Richtungen verfolgen und sich deshalb in ihren Wirkungen aufheben sollen, während sie durch die Einwirkung eines Magnets mehr oder weniger parallel und gleich gerichtet werden, wo sie dann die Erscheinung des Magnetismus bedingen.

Die Wechselwirkung zweier Magnete, wie auch die zwischen einem Magneten und einem Stromleiter ergibt sich nun nach dieser Theorie leicht, wenn man die bekannten Gesetze über die gegenseitige Wirkung zweier Stromleiter (S. 141 ff.) in Anwendung bringt. Denn man hat es nunmehr blos mit der Wechselwirkung zweier Stromelemente zu thun, die sich längs der sie verbindenden Geraden, je nach ihrer Richtung anziehen oder abstossen, so dass nur in dem einen Falle, wo diese Elemente senkrecht aufeinander und auf ihrer Verbindungslinie stehen, keine Wirkung erfolgt. Aus diesen von Ampère entdeckten und berechneten, und überdies in neuerer Zeit von W. Weber auf dem Wege des Versuchs bestätigten Gesetzen folgt jedoch nicht das Mindeste für die Richtigkeit der Ampère'schen Grundansicht. Wir dürfen nämlich nicht ausser Acht lassen, dass diese Gesetze zunächst nicht für die Wechselwirkung der elektrischen Stromelemente selbst, sondern bekanntlich nur für die Massentheilchen der Leiter gelten, welche von einem elektrischen Strome in dem einen oder anderen Sinne durchlaufen werden. Wenn man nun hierbei schlechthin von elektrischen Strömen spricht, so geschieht

das bloß der Abkürzung wegen, so dass man also streng genommen z. B. sagen müsste: zwei parallele Leiter ziehen sich an oder stoßen einander ab, je nachdem die elektrische Ströme in denselben gleiche oder entgegengesetzte Richtung haben. Thatsache ist es aber, dass ein von der Elektrizität durchströmter Leitungsdraht magnetische Eigenschaften verräth, und zwar so, dass wir ihn gewissermassen als einen Transversalmagneten betrachten können. Nun kann allerdings die Frage erhoben werden, ob die Elektrizität selbst im Acte des Strömens sich als Magnetismus äussere, oder ob der letztere, als etwas für sich Bestehendes, durch den elektrischen Strom bloß hervorgerufen werde. Das erstere behauptet die Ampère'sche Hypothese, die somit auch Elektrizität und Magnetismus im Wesentlichen als dasselbe ausgibt.

Ist es die Elektrizität, welche die gegenseitige Anziehung und Abstossung zweier Stromleiter bewirkt, so sollten die betreffenden Erscheinungen nach dem, was man sonst von dem Verhalten elektrischer Zustände weiss, gerade bei der umgekehrten Stromesrichtung eintreten. Stellt man sich nämlich zwei Leiter vor, in denen der elektrische Strom dieselbe Richtung hat, so können wir jeden, da sich die elektrischen Zustände von entgegengesetzten Seiten her ausgleichen, in der einen Hälfte als positiv, in der anderen als negativ elektrisch betrachten. Hier ist wohl nach bekannter Weise Abstossung, aber nicht Anziehung zu erwarten, was auch dann noch gilt, wenn die Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände in jedem Massentheilchen des Leiters vor sich geht. Dann hat man gegen die Ampère'sche Ansicht vom Magnetismus mit Recht eingewendet, dass sie ein selbstständiges Fortbestehen elektrischer Ströme auf eine Weise verlangt, welche mit dem gewöhnlichen Verhalten der Elektrizitätsleiter, wozu die des Magnetismus fähigen Körper gehören, nicht wohl zu vereinbaren sei. Wie leicht auch das elektrische Gleichgewicht in Leitern gestört werden kann, so muss doch eine constante Ursache vorhanden sein, welche die Bewegung unterhält. Die elektrischen Ströme, welche die Massentheilchen des Eisens nach allen Richtungen umkreisen und beim Magnetisiren des letzteren einander parallel gerichtet werden sollen, erfordern zu ihrer Erhaltung eine besondere elektromotorische Kraft. Denn ohne eine solche müssten die entgegengesetzt elektrischen Zustände, welche in jedem elementaren Strome sich begegnen, einander ausgleichen, womit

aber die Ströme selbst verschwinden würden. Wer nun Lust hat, kann sich freilich jedes kleinste Massentheilchen des Eisens als eine einfache galvanische Kette vorstellen, und zwar als eine wahrhaft trockene im Gegensatze zu den bekannten hydroelektrischen Ketten. Jedes Massentheilchen muss dann auch wenigstens drei verschiedenartige Bestandtheile enthalten, die aber untereinander keine elektrische Spannungsreihe bilden dürfen, weil sonst durch ihren gegenseitigen Contact bekanntlich kein elektrischer Strom entstehen könnte. Man weiss ferner, dass entgegengesetzt elektrische Zustände Anziehung zur Folge haben. Da nun in jedem Querschnitte eines Stromleiters solche Zustände von entgegengesetzten Seiten her einander begegnen, so ist nicht wohl einzusehen, wie damit die bekannte Thatsache verträglich ist, dass nämlich hintereinander liegende Theile eines und desselben geradlinigen Stromleiters sich gegenseitig abstossen.

Wir verlassen hier die Ampère'sche Theorie, werden aber auf dieselbe im nächsten Kapitel bei Gelegenheit der elektrischen Inductionserscheinungen wieder zurückkommen.

65. Es ist bereits erwähnt worden, dass Faraday den Versuch gemacht hat, die elektrischen Erscheinungen, ohne Annahme einer substantiellen Grundlage oder eines besonderen Fluidums, auf eine blosse Thätigkeit oder auf einen eigenthümlich polaren Zustand der ponderablen Körper zurückzuführen. Dieser Zustand pflanzt sich, sobald er in einem Theilchen hervorgetreten ist, auf die benachbarten fort. Während nun die Ampère'sche Theorie die magnetischen Erscheinungen aus elektrischen Strömen abzuleiten, und dadurch den Magnetismus mit der Elektricität gewissermassen zu identificiren sucht, strebt die Faraday'sche Theorie umgekehrt die elektrischen Erscheinungen auf das magnetische Princip zurückzuführen. Wie aber Ampère's Ansicht, falls man nämlich den elektrischen Strom als etwas Selbstständiges auffasst, meines Erachtens nicht über die elektrischen Erscheinungen hinausführt, so scheint Faraday's Theorie, consequent verfolgt, nicht über die magnetischen Erscheinungen hinauszukommen.

Nach Faraday*) sind bei Erzeugung der elektrischen Erschei-

*) Experimental Researches in Electricity, London 1839. Pogg. Ann. Bd. XXV. XXIX. XXXI. XXXIII. XXXV. XXXVI. XLVI. XLVIII. LII. LIII.

nungen zwei entgegengesetzte Kräfte thätig, die sich bei der statischen Elektrizität so wenig als bei der dynamischen oder galvanischen von einander trennen lassen, so dass es nicht möglich ist, einen Körper mit der einen oder anderen allein zu laden. Wo die eine vorhanden, da ist auch die andere entgegengesetzte versteckt, und wenn es den Anschein hat, es sei ein Körper bloß mit der einen behaftet, so ist es nur eben die durch Vertheilung an seiner Oberfläche hervorgebrachte Kraft, die hier zu Tage tritt. Diese Kräfte haben ihren Sitz in den Molecülen der Körper, und der elektrische Zustand besteht darin, dass die Molecüle oder kleinsten Massentheilchen an ihren entgegengesetzten Hälften entgegengesetzte Eigenschaften, d. h. Polarität erlangen. Die elektrische Vertheilung oder Induction hat ihren Grund in dieser Polarität, die, wenn sie in einem Theilchen hervorgetreten, auf das benachbarte sich überträgt; sie entspringt somit aus der Wirkung angrenzender Theilchen, und kann sich auch in krummen Linien verbreiten. Die polarisirten Massentheilchen befinden sich aber in einer erzwungenen Abweichung vom natürlichen Zustande, in den sie stets zurückzukehren streben. Mit diesem Zwangszustande ist unmittelbar das verbunden, was man elektrische Spannung nennt, die um so bedeutender ist, je weniger leicht der polare Zustand sich mittheilt. Die Elektrizitätsleitung erscheint als Uebertragung des polaren Zustandes eines Massentheilchens auf ein anderes, wobei das erstere in seinen natürlichen Zustand zurückkehrt, und je nachdem dies leicht oder schwer von statten geht, ist der betreffende Körper ein guter oder schlechter Leiter. Leitung ist hiernach ein besonderer Act der Entladung zwischen benachbarten Theilchen, indem eben bei dieser letzteren alle zuvor polarisirten Theilchen in den anfänglichen Zustand zurückkehren, und zwar in umgekehrter Ordnung, in welcher sie ihn verlassen haben. Je schwächer jener Spannungszustand, bei welchem die Entladung zwischen den Theilchen eines Körpers stattfindet, ein desto besserer Leiter ist dieser Körper. Nach dieser Ansicht kann man sagen, sind Isolatoren diejenigen Körper, deren Theilchen den Polarisationszustand festhalten können, Leiter dagegen solche, welche nicht bleibend polarisirt werden können *).

*) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 4 u. 837; Bd. XLVII. S. 33. Bd. XLVIII. S. 269.

Faraday*) betrachtet das Wort Strom als allgemeinen Ausdruck für einen gewissen Zustand und eine gewisse Beziehung von als wandernd vorausgesetzten elektrischen Kräften. Wenn ein Zink- und Sauerstofftheilchen neben einander liegen, so üben dieselben Vertheilungskräfte auf einander aus, die sich bis zum Verbindungspunkte steigern. War das Sauerstofftheilchen mit Wasserstoff verbunden, so muss das durch stärkere Kraft losgerissene Wasserstofftheilchen seine Kraft auf das nächste Sauerstofftheilchen äussern, und indem dies so fortgeht, entsteht der elektrische Strom. Diese Wirkung der Theilchen kann in zwei Theile zerfällt werden, in die, welche stattfindet, während die Kraft in einem Sauerstofftheilchen gegen das Zinktheilchen gesteigert wird, gegen das verbundene Wasserstofftheilchen aber abnimmt, und in diejenige, welche stattfindet, wenn die wirkliche Trennung und Vereinigung eintritt; die erstere erzeugt den Strom, oder bei offener Säule den Spannungszustand der Pole, die andere bedingt die Fortsetzung des Stromes, indem stets neue Theilchen in Conflict kommen.

Die elektrochemische Zersetzung insbesondere wird nach Faraday hervorgebracht durch eine in der Richtung des elektrischen Stromes ausgeübte innere Molecular-Action, und sie rührt her von einer Kraft, die entweder der gewöhnlichen chemischen Affinität der vorhandenen Körper hinzutritt oder dieser Richtung verleiht. Der sich zersetzende Körper kann betrachtet werden als eine Masse wirkender Theilchen, von denen alle die, welche in dem Laufe des elektrischen Stromes liegen, zu der Endwirkung beitragen; und dadurch, dass die gewöhnliche chemische Affinität durch den Einfluss des elektrischen Stromes, parallel seinem Laufe, in der einen Richtung verringert, geschwächt oder theilweise neutralisirt wird, geschieht es, dass die verbundenen Theilchen eine Neigung haben, entgegengesetzte Wege einzuschlagen. Nach dieser Ansicht hängt der Effect wesentlich ab von der entgegengesetzten chemischen Affinität der Theilchen entgegengesetzter Art, wobei aber nicht vorausgesetzt wird, dass die thätigen Theilchen in einer geraden Linie zwischen den Polen liegen, obschon in diesem Falle der Effect ein Maximum wird. Die Theorie erfordert die Annahme, dass die elementaren Theilchen eines der elektrochemischen Zersetzung fähigen zusammengesetzten Körpers

*) Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 313.

einen Einfluss aufeinander üben, der sich über diejenigen hinauserstreckt, mit welchen sie in unmittelbarer Berührung stehen. So muss für das Wasser angenommen werden, dass ein Wasserstoffatom, welches mit einem Sauerstofftheilchen verbunden ist, sich gegen andere Sauerstofftheilchen, wiewohl diese mit anderen Wasserstoffatomen verbunden sind, nicht ganz indifferent verhalte, sondern eine Verwandtschaft oder Anziehung gegen sie äussere, welche, obgleich unter den gewöhnlichen Umständen nicht so stark als die, durch welche es mit seinem eigenen Sauerstofftheilchen verbunden ist, dieselbe doch unter dem in einer bestimmten Richtung thätigen elektrischen Einfluss gar wohl übertreffen kann. Faraday betrachtet hiernach die Effecte als entsprungen aus inneren, der in Zersetzung begriffenen Substanz angehörigen Kräften, und nicht aus äusserlichen, wie sie betrachtet werden könnten, wenn sie unmittelbar von den Polen abhingen. Er nimmt an, dass die Wirkungen Folge seien einer durch den elektrischen Strom hervorgebrachten Abänderung der chemischen Verwandtschaft der in oder neben der Bahn des Stromes liegenden Theilchen, durch welche diese das Vermögen erlangen, in einer Richtung stärker als in der anderen zu wirken, so dass sie demgemäss durch eine Reihe folgeweiser Zersetzungen und Wiederausammensetzungen in entgegengesetzter Richtung fortgeführt, und endlich an den in der Richtung des Stromes liegenden Grenzen des in Zersetzung begriffenen Körpers ausgetrieben oder ausgeschlossen werden, und dies in grösserer oder geringerer Menge, je nachdem der Strom mehr oder weniger stark ist.

66. Jene entgegengesetzte Kräfte, von denen jedes Körpertheilchen beide zu gleichem Betrage enthält, befinden sich also für gewöhnlich im Zustande der Indifferenz, und treten erst durch die bekannten Erregungsmittel der Elektrizität nach entgegengesetzten Richtungen auseinander. Sind nun diese Kräfte etwas Selbstständiges (für sich Existirendes), so fällt die Faraday'sche Theorie im Wesentlichen zusammen mit der dualistischen Ansicht, nach welcher bekanntlich zwei entgegengesetzte Elektrizitäten existiren sollen, die man auch Kräfte nennen kann. Alle elektrischen Erscheinungen sind dann nur durch einen nach den Umständen näher bestimmten Vertheilungsprocess bedingt, in der Art des magnetischen, bei dem man gewöhnlich annimmt, dass die entgegengesetzt magnetischen Fluida (oder Kräfte) nicht von einem Massentheilchen auf das benachbarte übergehen, son-

dern nur nach entgegengesetzten Richtungen auseinandertreten können. Und es ist dann auch wieder erlaubt, statt zweier elektrischer Fluida nur Eines anzunehmen, falls ein zweites sich als überflüssig erweisen sollte. Es bieten sich nun, wenn man näher auf diesen Gegenstand eingeht, folgende unabweisliche Betrachtungen dar, die ihre Geltung behalten, mag man übrigens der atomistischen oder dynamischen Ansicht huldigen. Man kann sich nämlich die beiden elektrischen Fluida, wenn man will, auch als entgegengesetzte Kräfte denken, und die elektrischen Elemente selbst der Veranschaulichung wegen als Kraftpunkte. Bei der Annahme Eines elektrischen Fluidums wären dann diese Kraftpunkte unter einander als qualitativ gleich zu betrachten, und die elektrische Polarität eines Körpertheilchens bestände darin, dass die eine elektrische Kraft auf Grund einer äusseren Veranlassung an der einen Seite desselben in grösserer Intensität als auf der anderen Seite auftritt, oder vielmehr, dass sich dort eine grössere Anzahl von Kraftpunkten als hier ansammelt.

Will man jedoch, wozu Faraday geneigt ist, bei Erklärung der elektrischen Erscheinungen kein besonderes Fluidum oder eine demselben äquivalente, und zwar selbstständige Kraft annehmen, so bleibt nichts übrig als die chemische Action und die mit ihr verbundene oder ihr vorausgehende Molecularveränderung, die alsdann Ursache, nicht Wirkung der Elektrizität ist. Taucht man beispielsweise ein Stück Zink in Wasser, so wird, wie bereits oben angeführt, vermöge der chemischen Anziehung zwischen den Zink- und Sauerstofftheilchen den Bestandtheilen des Wassers eine bestimmte Richtung ertheilt, womit das Auftreten dessen, was man elektrischen Strom nennt, oder zunächst die elektrische Differenz zwischen Wasser und Zink ohne Weiteres gegeben ist. Denkt man sich jetzt das Zink mit Kupfer zu einer einfachen galvanischen Kette verbunden, so steht die Erklärung der hierher gehörigen Erscheinungen offenbar still, sofern nicht die durch die chemische Action in der Flüssigkeit hervorgerufene Polarität sich auf sämtliche Metalltheilchen übertragen kann. Sind nun aber die kleinsten Theilchen der Metalle in sich durchaus gleichartig, so können sie unmöglich an ihren entgegengesetzten Enden entgegengesetzte Eigenschaften, d. h. Polarität annehmen. Ohne die letztere hat es aber sein Bewenden bei der chemischen Action zwischen Zink und Sauerstoff, es geschieht nichts, was nicht auch ohne die Berührung des Zinks mit dem anderen Metalle ge-

schehen könnte. Die Metalltheilchen müssen jene Polarität, auf der nach Faraday der elektrische Zustand beruht, annehmen können, wenn die Berührung der Metalle den entsprechenden Erfolg haben soll.

Will man nun die Massentheilchen der Metalle nicht wieder mit entgegengesetzten (selbstständigen) Kräften begaben und dadurch in die andere Ansicht zurückfallen, so muss man sich jedes Massentheilchen selbst aus zwei entgegengesetzten Elementen oder, wenn man will, Kraftpunkten zusammengesetzt denken. Eine solche Zusammengesetztheit ist möglich, ja wahrscheinlich, obwohl, wenn man ein Fluidum annimmt, zur Erklärung der blos elektrischen Erscheinungen nicht nothwendig. Mit dieser Zusammengesetztheit ist die Möglichkeit der Polarität der kleinsten Massentheilchen oder Moleküle irgend eines Metalls gegeben; soll aber das polare Verhältniss wirklich hervortreten, so ist noch ein besonderes Arrangement der Moleküle erforderlich, dergestalt, dass die ungleichartigen Elemente derselben einander zu-, die gleichartigen von einander abgewendet sind. Diese Elemente befinden sich unter gewöhnlichen Umständen im Zustande der Indifferenz oder Neutralisation; sobald ihnen aber durch irgend einen äusseren vertheilenden Einfluss, vermöge dessen das eine Element eine Anziehung und das andere eine Zurückstossung erfährt, Richtung verliehen wird, erhalten sie zugleich die Tendenz, nach entgegengesetzten Seiten auseinander zu treten, und in dem Masse, in welchem dies geschieht, entwickelt sich ihnen Polarität mit freier Wirkung nach aussen. Ist diese Polarität in einem Massentheilchen hervorgetreten, so überträgt sich dieselbe auf das nächste, durch Anziehung des einen und durch Zurückstossung des anderen Elements. Die Elemente der Massentheilchen so aus ihrer natürlichen Gleichgewichtslage entfernt, befinden sich allerdings in einem Zwangszustande; sie streben fortwährend in jene Lage zurück und nehmen dieselbe wieder ein, sobald der äussere Einfluss verschwindet. Je nachdem nun die Elemente der Massentheilchen eines Körpers sich mehr oder weniger leicht aus ihrer Gleichgewichtslage in der angegebenen Weise entfernen lassen, gehört der Körper zu den guten oder schlechten Leitern der Elektrizität. Die Polarität der Massentheilchen wird aber um so vollständiger hervortreten, je grösser die Abweichung ihrer Elemente von der natürlichen Gleichgewichtslage ist, je mehr sie also in diejenige Position gerathen, in

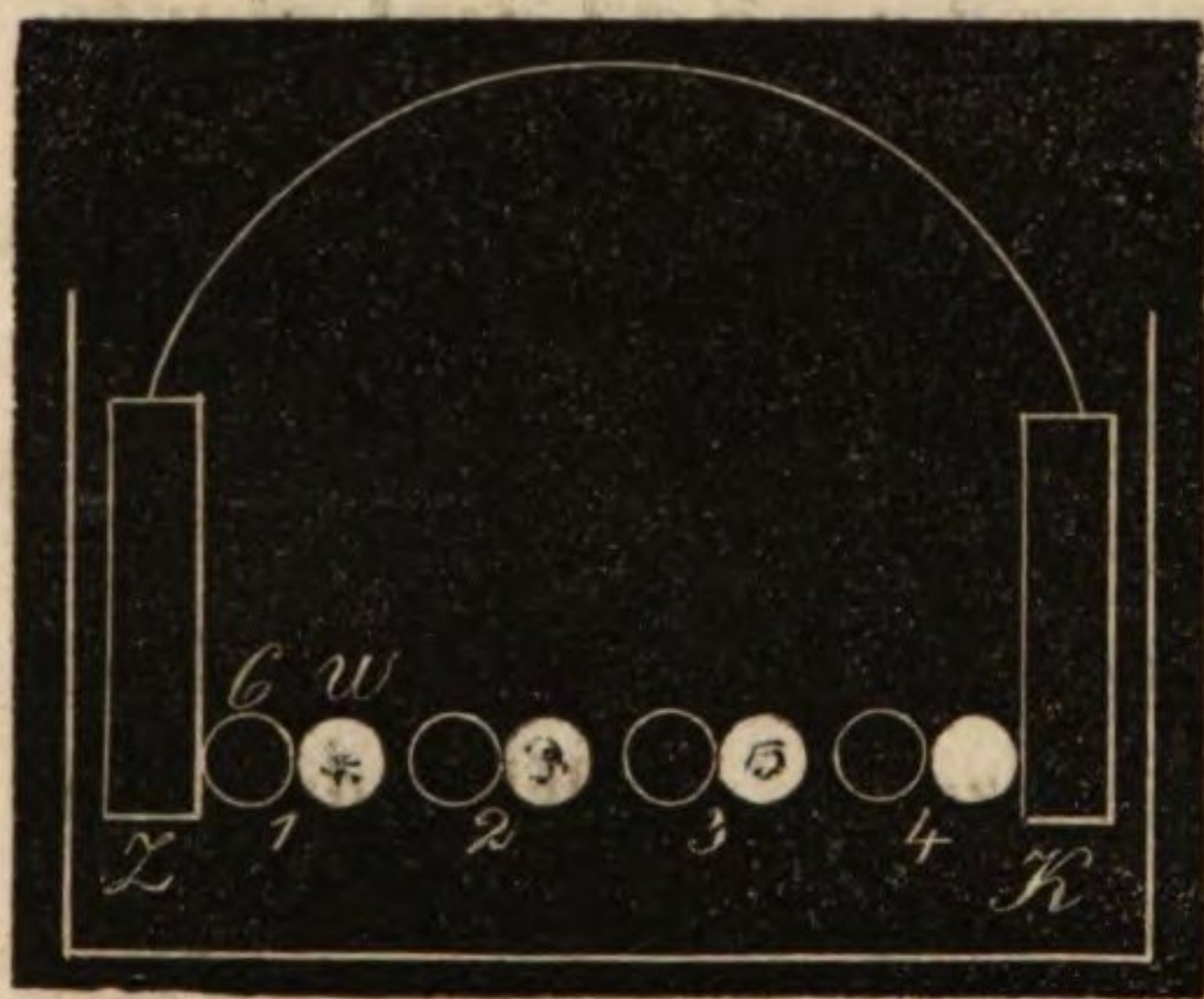
welcher die ungleichartigen Elemente einander gerade zugekehrt, die gleichartigen aber ebenso sehr von einander abgewendet sind.

Man kann nun auch weiter, wie das von mehreren Physikern, so namentlich von Ettingshausen und Baumgartner*) geschehen ist, annehmen, dass mit der bei der Berührung ungleichartiger Metalle wirksamen Adhäsion eine Molecular-Veränderung eintrete, und wenn hiermit schon jene Polarität der kleinsten Körpertheilchen sich entwickelt, so gibt das die sogenannte Contactelektricität. Die Adhäsion lässt sich aber mit Recht als ein Anfang chemischer Einwirkung oder diese als eine verstärkte Adhäsion betrachten. Dabei stützt man sich noch auf die innige Beziehung, welche Prectl zwischen der Adhärenz der Metalle und ihrer elektrischen Differenz oder ihrer relativen Stellung in der Spannungsreihe nachgewiesen hat. Allein hieraus lässt sich noch gar nicht mit Evidenz schliessen, dass die Adhäsion das Ursächliche der Contactelektricität sei; denn die Elemente eines elektrischen Fluidums müssen zu den Massentheilen ungleichartiger Körper ein verschiedenes Verhalten zeigen, das durch den materiellen Gegensatz derselben bedingt ist, und da hiervon auch die Adhäsion abhängt, so leuchtet der von Prectl constatirte Zusammenhang von selbst ein. Schönbein's**) elektrische Hypothese ist aber von der Ansicht, nach welcher die elektrische und Molecular-Action eines und dasselbe sind, nicht wesentlich verschieden. Die Elektricität besteht auch nach ihm in einem polaren Zustand der kleinsten Massentheilen eines Körpers, und der Grad der Leitungsfähigkeit der Materie ist nichts Anderes als der Grad der Schnelligkeit oder Langsamkeit, mit der die Theilchen dieser Materie sich elektrisch polarisiren und depolarisiren lassen. Mit Rücksicht auf die obigen Betrachtungen lässt sich nun einigermaßen einsehen, wie die durch die chemische Action in der Flüssigkeit veranlasste Polarität sich auf die Metalltheilchen überträgt. Die Zersetzung, welche das Zink durch seine Anziehung gegen den einen Bestandtheil der Flüssigkeit bewirkt, ist die Quelle der Elektricität in der Kette und der elektrische Strom die Fortsetzung dieser Zersetzung nach einer bestimmten Richtung. Denkt man sich z. B. eine Zinkplatte in Salzsäure, so wird durch die erwähnte Anziehung den Atomen der Salzsäuretheilchen

*) Naturlehre 1842. S. 303.

**) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 89 und 229; Bd. LXXVIII. S. 289.

eine bestimmte Richtung und dadurch Polarität verliehen, womit nach Faraday schon das Entstehen eines schwachen Stromes von kurzer Dauer verbunden ist. Aber auch die Zinktheilchen werden polarisch, und zwar ein jedes an der der Salzsäure zugekehrten Seite positiv, an der anderen negativ, wenn man das Chlorelement negativ und das Wasserstoffelement positiv polar nennt. Stellt man sich nun vor, jedes kleinste Massentheilchen des Metalls bestehe selbst aus zwei ungleichartigen Elementen, so kann die Polarität dieser Theilchen von Seiten der Flüssigkeit dadurch erregt werden, dass das Chlor das eine Element anzieht und das andere zurücktreibt. Dies geschieht natürlich zunächst da, wo das Metall mit der Flüssigkeit in Berührung steht; die hier bewirkte Polarität verbreitet sich aber in obiger Weise von einem Metalltheilchen auf das andere. Das angezogene Element des Metalls wäre dann als positiv, das abgestossene als negativ zu betrachten. Ist nun die Anziehung zwischen dem positiven Zink- und dem negativen Chloratom mächtig genug, so entsteht Chlorzink, welches sich in der Flüssigkeit auflöst, während der positive Wasserstoff als Gas an der Oberfläche der Zinkplatte entweicht. Stellt man aber dem Zink eine Kupferplatte gegenüber und verbindet beide durch einen Metalldraht, so pflanzt sich jene Polarität der Zinktheilchen durch den Draht bis zu den letzten Atomen der Kupferplatte fort, so dass diese in Bezug auf das positive



Zinkende negativ polar werden. Hierdurch wird die Polarität der zwischen ihnen befindlichen Salzsäure, welche in allen Theilchen der letzteren gleich gross ist, verstärkt, und in demselben Moment, wo das Chlor des Theilchens 1 sich mit einem Zinktheilchen (als solchem) verbindet, vereinigt sich der Wasserstoff desselben Theilchens mit dem Chlor von 2, das Wasserstoffatom von 2 aber mit dem Chlor von 3 und sofort bis zur Kupferplatte, an welcher das Wasserstoffatom des Theilchens 4 frei wird.

Diese Theorie, die also kein elektrisches Fluidum anerkennt, vermag wohl die elektrisch polaren Verhältnisse im Allgemeinen zu erklären, aber sie ist nicht im Stande, die individuellen Besonderheiten, wodurch sich die elektrischen Erscheinungen von den

magnetischen unterscheiden, auf einen klar erkannten Grund zurückzuführen. Sie lässt sich, gehörig entwickelt, den magnetischen Erscheinungen vollständig anpassen, denn ein Magnet ist thatsächlich ein Inbegriff polarerregter Theilchen, so dass man dabei an ein Fluidum, das von einem Körper auf den anderen, oder auch nur von einem Massentheilchen zum nächsten übergeht, gar nicht zu denken braucht. Ein isolirter Leiter, der durch Vertheilung elektrisch geworden, zeigt an seinen beiden Enden allerdings einen gewissen Gegensatz, den man wohl durch eine Polarität der kleinsten Massentheilchen in obiger Weise erklären kann; bringt man aber denselben auf einen Augenblick mit der Erde in leitende Gemeinschaft, so verrieth er auf seiner ganzen Oberfläche, nach Wegfall des vertheilenden Einflusses, eine gleichartige elektrische Beschaffenheit. Ein Eisenstab, der vertheilenden Einwirkung eines Magnetpols ausgesetzt, zeigt nun ähnlich wie ein durch Vertheilung elektrisirter Leiter, an seinen beiden Hälften einen polaren Gegensatz, der jedoch dadurch, dass man den Stab durch einen Eisendraht mit der Erde verbindet, nicht aufgehoben oder verdeckt werden kann. Vielmehr setzt sich in diesem Drahte die magnetische Polarität fort, ohne dass die des Eisenstabes dadurch verändert wird, ganz so wie man es nach der obigen Theorie zu erwarten hat. Ebenso unaufgeklärt lässt sie das Ausgleichungsphänomen entgegengesetzter elektrischer Zustände, das bei den magnetischen Erscheinungen nicht in ähnlicher Weise zu Tage tritt. Wenn nun Faraday sagt: die Elektrizität lasse sich betrachten als die Axe einer Kraft, die nach entgegengesetzten Richtungen gleich starke, aber entgegengesetzte Wirkungen ausübt *), oder es seien zwei entgegengesetzte Kräfte **), die den Massentheilchen der Körper adhären, und durch die bekannten Erregungsmittel der Elektrizität in Wirksamkeit versetzt werden; so fällt diese Auffassungsweise zusammen mit dem bekannten Erklärungsprincip der magnetischen Erscheinungen, nach dem gleichfalls zwei entgegengesetzte Kräfte oder Fluida existiren, die nach entgegengesetzten Richtungen, ohne aber die Massentheilchen zu verlassen, wirksam werden. Und so ist es denn kein Wunder, wenn die Faraday'sche Theorie, consequent verfolgt, eben nur zur Erklärung der magnetischen, nicht aber der

*) Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 431.

**) Ebenda Bd. XLVI. S. 2.

Cornelius, E. & M.

elektrischen Erscheinungen führt, die vielmehr auf ein besonderes Fluidum hindeuten. Das letztere aber erzeugt in den Körpern, die es durchdringt, Molecularveränderungen, und durch diese als transversale Wirkung auch magnetische Erscheinungen, wie wir dies bereits (S. 149 ff.) auseinander gesetzt haben.

67. Die Erscheinungen der hydroelektrischen Kette insbesondere haben zu zwei verschiedenen Theorien derselben Veranlassung gegeben. Die eine ist die Contact-, die andere die chemische Theorie. Nach der ersten ist der elektrische Strom bedingt durch die elektrische Erregung, welche bei der gegenseitigen Berührung von Metallen und dieser letzteren mit Flüssigkeiten stattfindet, nach der zweiten dagegen durch eine chemische Action, welche, nachdem sie den Strom hervorgerufen, durch diesen auch wieder befördert werden kann. So ist es nach der älteren Oxydationstheorie eben nur die Oxydation des positiven Metalls (Zink), welche dem elektrischen Vertheilungszustande in der Kette zu Grunde liegt. Die chemische Theorie betrachtet also den elektrischen Strom als eine Folge des gestörten chemischen Gleichgewichts, während die Contacttheorie umgekehrt annimmt, dass die Elektricitätsentwicklung, welche durch die blosse Berührung der ungleichartigen Kettenglieder veranlasst wird, dem chemischen Process vorausgehe. Nun kann aber die elektrische Erregung bei der blossen Berührung ungleichartiger Körper nicht geläugnet werden, da sie selbst unter Umständen wahrnehmbar ist, wo sich an einen chemischen Process (ohne den grösssten Zwang) nicht denken lässt. So erhielt Becquerel unter völliger Abhaltung aller Luft und Feuchtigkeit, und Pfaff sowohl in einer Umgebung von trockner und feuchter Luft als auch in den verschiedensten Gasarten ganz unzweideutige Resultate. Faraday läugnet auch nicht, dass, wo zwei verschiedene Körper einander berühren, die ungleichartigen Theile aufeinander wirken und entgegengesetzte Zustände erregen, glaubt vielmehr, dass eine solche Wirkung in vielen Fällen zwischen aneinander liegenden Theilchen stattfinden könne, z. B. vorbereitend die Action in den gewöhnlichen chemischen Erscheinungen und auch vorbereitend denjenigen Act der chemischen Combination, welcher in der Volta'schen Kette den Strom hervorruft.

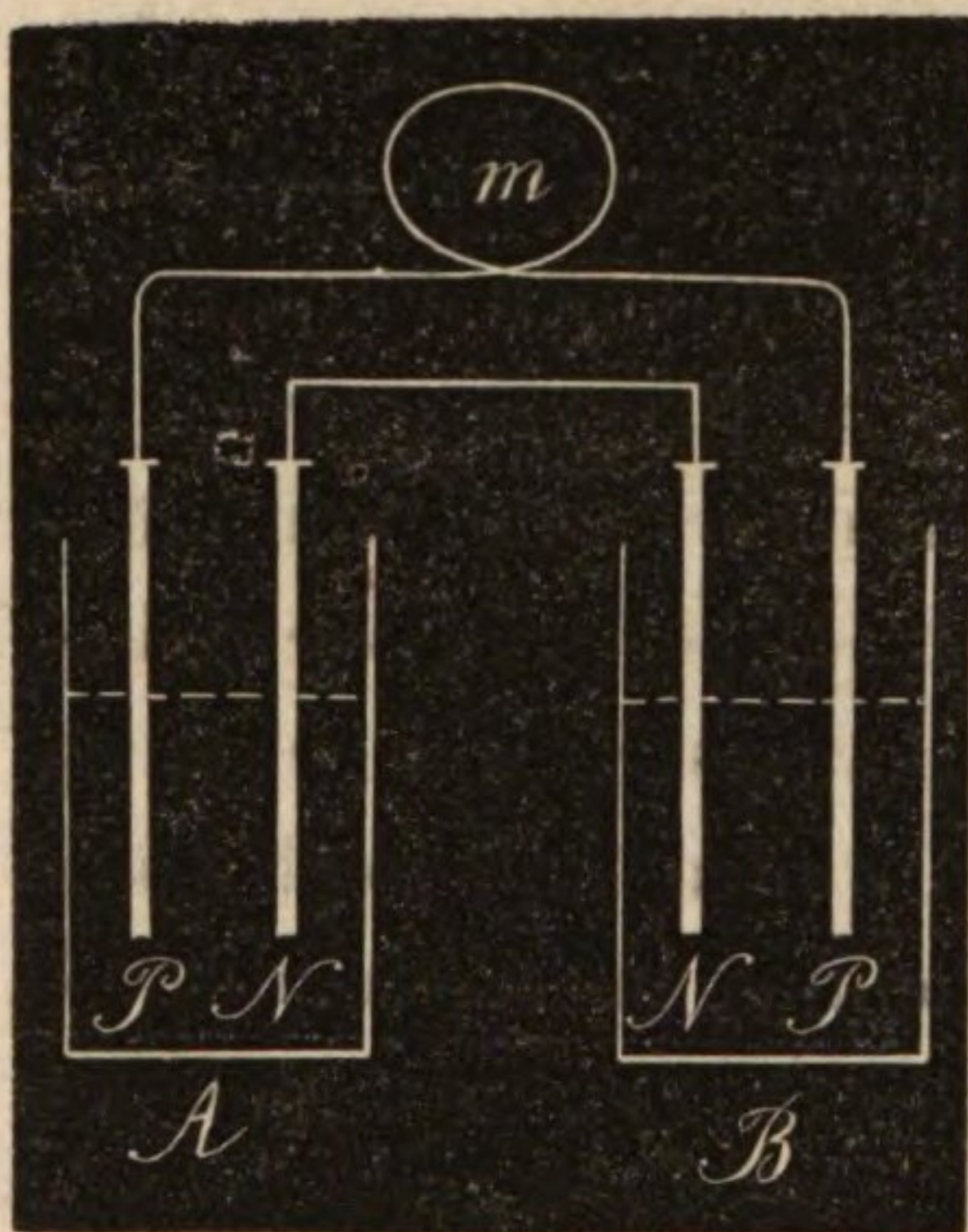
Die wichtigsten Erscheinungen der Volta'schen Kette haben von uns, unter Annahme eines elektrischen Fluidums, eine Erklärung

gefunden, welche die Contacttheorie gewissermassen in sich schliesst. Der Streit zwischen dieser und der chemischen Theorie ist aber nur in so fern bedeutsam, als die letztere die Unmöglichkeit einer wirk-samen Volta'schen Kette ohne eine der Schliessung derselben voraus-gehende (primäre) chemische Action behauptet. Doch gibt selbst Schönbein*), der Vertheidiger der chemischen Theorie im Fara-day'schen Sinne, vollkommen zu, dass es viele hydroelektrische Ketten gebe, welche voltaisch wirksam sind, ohne dass in ihnen vor-bewerkstelliger Schliessung irgend eine, entweder durch Verbindung oder Zersetzung sich äussernde chemische Thätigkeit stattfindet, z. B. ein Metall der Kette oxydirt und deren feuchter Leiter zerlegt wird. Nichts destoweniger sucht er aber die Ursache der in solchen Ketten auftretenden elektrischen Erscheinungen nicht in einem blos-sen, von allem Chemismus unabhängigen Contacte verschiedenartiger Materien, z. B. zweier Metalle, sondern in einer allerdings durch Berührung bedingten chemischen Anziehung, welche ein Glied der Kette, z. B. das Zink, gegen den einen oder anderen Bestandtheil einer zur Kettenbildung angewendeten elektrolytischen Flüssigkeit ausübt. Faraday hat indessen zur Unterstützung obiger Behaup-tung eine Menge von Versuchen angestellt, die sich aber durch die Contacttheorie meist sehr einfach erklären lassen, wenn man nicht allein das elektromotorische Verhältniss zwischen Metallen, sondern auch das der letzteren mit Flüssigkeiten gehörig beachtet, was von Faraday nicht in genügendem Masse geschehen ist. Der hydro-elektrische Strom erscheint freilich stets von einem chemischen Pro-cess begleitet, der eine Wirkung desselben ist, womit aber nicht geläugnet wird, dass die Verbindungsfähigkeit zwischen dem positiven Metall und dem einen Bestandtheile der Flüssigkeit einen fördernden Einfluss üben könne. Auch wird der chemische Process, soweit er durch den elektrischen Strom bewirkt ist, mit diesem aufhören müs-sen. Das Verschwinden des letzteren ist aber auf bekannte Weise be-dingt durch secundäre elektromotorische Verhältnisse, welche durch die Elektrolyse hervorgerufen werden. Wir wollen nun noch, um die Beurtheilung der hier vorliegenden Erscheinungen zu vervollstän-digen, die wichtigsten der von Faraday der Contacttheorie entge-gengestellten Versuche in Betracht ziehen.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 289.

In ein Glas, das verdünnte Salpetersäure mit etwas Schwefelsäure enthält, wird eine etwa 8 Zoll lange, 0,5 Zoll breite, wohl gereinigte Zinkplatte *z*, und eine ebenso breite, etwa 3 Zoll lange Platinplatte *p* gestellt. Legt man nun bei *x* auf die oben umgebogene Zinkplatte ein mit Jodkalium befeuchtetes Fliesspapier, mit dem man den an *p* gelötheten Platindraht in Berührung bringt, so wird an diesem Jod frei, während das Alkali am Zink erscheint, wie ein mit Curcumä gefärbtes Papierstück, das man unter das Fliesspapier legt, sogleich zu erkennen gibt. Hier ist also ohne Metallcontact ein elektrischer Strom vorhanden, der nach Faraday durch chemische Action hervorgerufen wird, indem hier zwei chemische Verwandtschaften, die des Sauerstoffes und die des Jods zum Zink, einen solchen erregen, von denen jedoch die erstere, als die stärkere, mehr Elektrizität erzeugt, so dass dann schliesslich ein Strom im Sinne der Verwandtschaft des Sauerstoffes entsteht. Allein schon Pfaff führte diesen Fall auf das elektromotorische Verhältniss zwischen Metallen und Flüssigkeiten zurück, wonach der positiv elektrische Strom hier vom Platin durch die Jodkaliumlösung zum Zink geht, und diese Lösung in bekannter Weise dergestalt zerlegt, dass das Alkali am Zink erscheint.

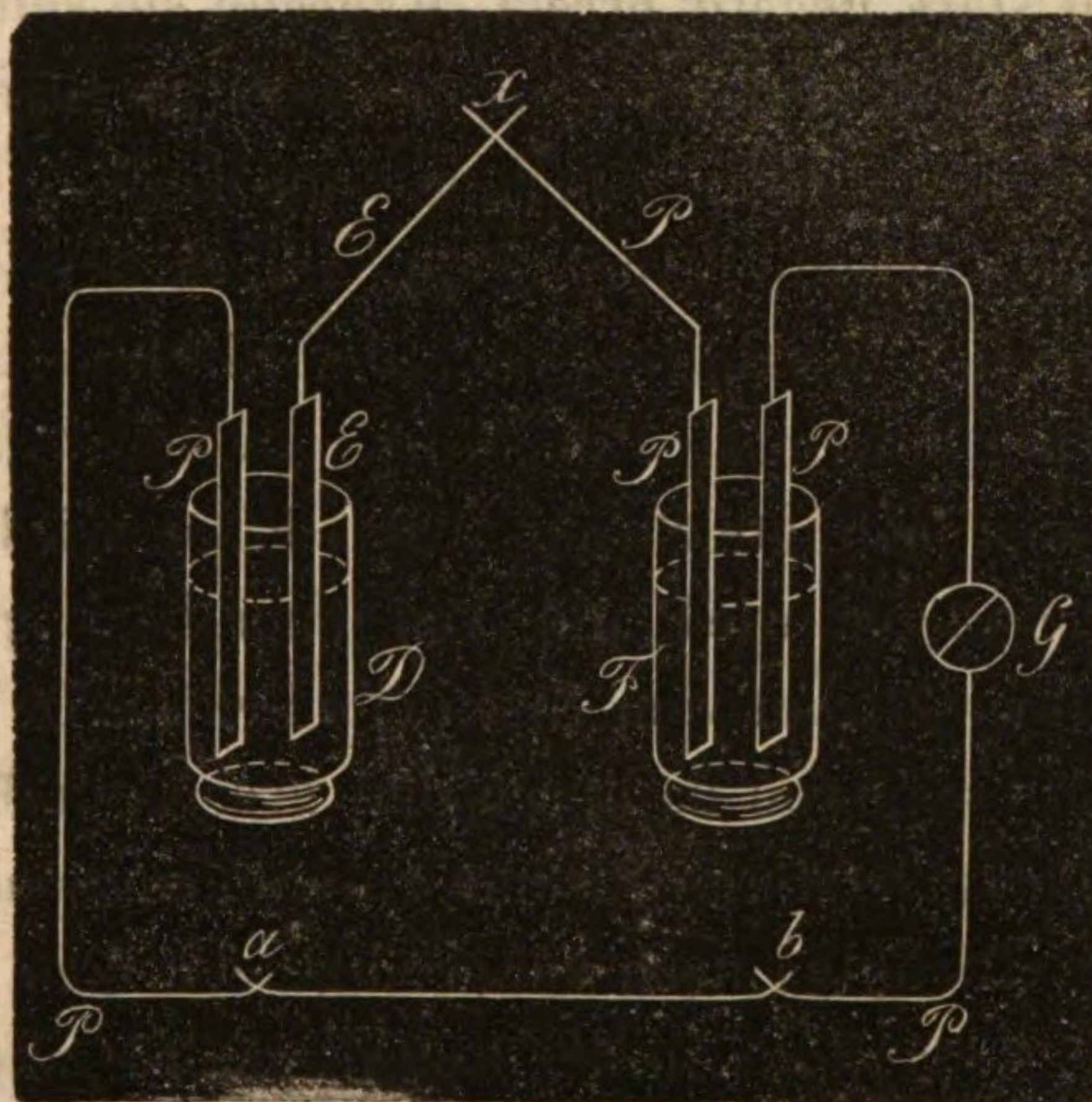
Poggendorff*) untersuchte eine grössere Anzahl von Ketten, die aus zwei Flüssigkeiten und zwei sich berührenden Metallen bestehen. In zwei kleine Glashafen A und B goss er zwei Flüssigkeiten bis zu einer gewissen Höhe, stellte in jede derselben ein heterogenes Plattenpaar P, N und verband die gleichartigen Platten durch Kupferdrähte, von denen der eine mit einem Multiplicator *m* in Verbindung stand. In solchen Ketten gibt es möglicherweise vier Erregungs-orte, zwei in jedem Gefässe, und fasst man die in demselben Gefässe entwickelten elektromotorischen Kräfte zusammen, so hat man deren zwei, die einander entgegenwirken. Ihre Differenz, dividirt



*) Ann. Bd. XLIX. S. 31.

durch den Gesamtwiderstand der Kette, gibt nach der Ohm'schen Formel die Intensität des auftretenden Stromes. Nach Faraday müsste nun die elektromotorische Kraft um so grösser sein, als die Verwandtschaft des Zinks zum Sauerstoff, Chlor oder überhaupt zu dem elektronegativen Bestandtheil der Flüssigkeit stärker ist. Dies fand sich jedoch nicht. „Sie ist in Fällen schwach, wo man diese Verwandtschaft für stark zu halten hat, und zeigt sich dagegen stark, wo man nur eine schwache Verwandtschaft annehmen muss. Häufig sogar entsteht ein Strom, und bisweilen ein recht kräftiger, wo, nach dieser Verwandtschaft zu urtheilen, durchaus keine Wirkung zu erwarten wäre.“

Ein anderer Versuch Faraday's, auf den dieser ein besonderes Gewicht legte, ist folgender*). In zwei Glasgefässen, die mit einer concentrirten Lösung von Schwefelkalium gefüllt sind, stehen die Platinplatten P, P, P und eine Eisenplatte E, welche durch Platin-



und Eisendröhte auf die in der Figur angegebene Weise miteinander verbunden sind, während bei G zugleich ein empfindliches Galvanometer eingeschaltet ist. Da diese Metalle von der Schwefelkaliumauflösung nicht angegriffen werden, so kann hier nach der chemischen Theorie kein Strom entstehen, wohl aber, wie Faraday meint,

*) Pogg. Ann. Bd. LH. S. 163.

nach der Contacttheorie; denn wir haben hier zwischen Platin und Eisen drei metallische Berührungen, und zwar bei a, b und x, von denen die beiden ersteren als einander entgegengesetzt sich aufheben, während der Wirkung des dritten (bei x) nichts entgegensteht. Dennoch ist kein Strom vorhanden, obwohl die Kette für einen schwachen thermoelektrischen Strom, den eine Temperaturdifferenz an einer der Berührungsstellen a, b oder x hervorbringt, durchdringlich ist. Wenn man aber bei x die Metalle öffnet und ein mit verdünnter Säure oder Salzlösung benetztes Papier, oder die Zunge oder einen feuchten Finger einschiebt, so wird ein Strom erzeugt, weit stärker als der, den die Thermowirkung hervorbringen kann, und zwar vom Eisen durch die eingeschaltete Säure oder sonstige Flüssigkeit zum Platin. Dieser Strom ist nun nach Faraday die Folge der bei x stattfindenden chemischen Action. Die Contacttheorie erklärt aber diese Erscheinung sehr einfach durch das elektromotorische Verhalten der beiden Metalle zu der Schwefelkaliumauflösung. Platin wird nämlich durch diese Flüssigkeit stark negativ erregt, während sie selbst positiv elektrisch wird, und so geht der sogenannte positive Strom in der Richtung vom Platin durch die Flüssigkeit zum Eisen. Der durch den Metallcontact bei x erregte Strom geht umgekehrt in der Richtung vom Platin durch den Metalldraht nach der Eisenplatte in D, und in derselben Richtung bewegt sich der durch die Berührung der Flüssigkeit mit dem Eisen bedingte Strom. Das Eisen wird nämlich ebenfalls, nur viel schwächer wie Platin, von jener Lösung negativ erregt, so dass ein positiver Strom vom Eisen (im Gefässe D) durch die Flüssigkeit zum Platin und von da durch den grösseren Metallbogen etc. geht. Diese beiden letzteren Ströme zusammengekommen sind nun gleich, aber der Richtung nach entgegengesetzt dem zuerst betrachteten Strome. Daher Ruhe in der Kette. Wird aber die letztere bei x geöffnet und eine Flüssigkeit eingeschaltet, so fällt der vom Metallcontacte herrührende Strom fort, und der durch die Berührung des Platins mit der Schwefelkaliumauflösung veranlasste Strom erhält das Uebergewicht. — Martens ist der Ansicht, dass das Eisen in Berührung mit Schwefelkalium passiv werde und dadurch in einen dem Platin gleichen Zustand gerathe, weshalb denn auch bei der eben betrachteten Kette kein Strom entstehen könne. *)

*) Vergl. auch Kohlrausch in Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 464.

Man kann der chemischen Theorie den Vorwurf machen, dass sie keinen genügenden Aufschluss gibt über die Bedeutung, welche die Ungleichartigkeit verschiedener Metalle bei solchen Ketten zeigt, in denen diese von den betreffenden Flüssigkeiten nicht direct angegriffen werden. Poggendorff füllte einen porösen Thoncylinder mit Salpetersäure von specifischem Gewichte 1,33 und stellte ihn in eine Kalilauge, die aus 1 Gewichtsth. Kali und 4 Gewichtsth. Wasser bereitet war. In beide Flüssigkeiten tauchten Platinplatten, die mit einer Sinusboussole in Verbindung gesetzt wurden, um die Stromstärke zu ermitteln. Hierauf wurde die Platinplatte in der Kalilauge durch eine Eisenplatte ersetzt, die von dieser Flüssigkeit so wenig wie das Platin eine eigentliche chemische Einwirkung erlitt. Die Stromstärke war aber bedeutend grösser als im ersten Falle.

Der elektrische Strom dieser Ketten lässt sich von der chemischen Wirkung beider Flüssigkeiten aufeinander nicht herleiten. Die Schwefelsäure hat eine stärkere Verwandtschaft zum Kali als die Salpetersäure, dessenungeachtet gab jene statt dieser angewandt eine geringere Stromstärke. Poulsen*) änderte den Versuch in der Weise ab, dass beide Flüssigkeiten, die Aetzkalilauge und Salpetersäure, durch eine Auflösung von Salpeter in einer unmittelbaren Wirkung auf einander gehindert waren. Ein poröser Thoncylinder wurde nämlich mit Salpetersäure gefüllt und in einen grösseren Thoncylinder mit Salpeterauflösung eingesenkt, welcher seinerseits in Aetzkalilösung eingetaucht war. Auch dann noch zeigte sich ein Strom von beträchtlicher Stärke.

Wäre die chemische Action, welche der Schliessung der Kette vorausgeht, die nächste Ursache des elektrischen Stromes, so müsste wohl zwischen beiden eine gewisse Proportionalität stattfinden, was aber im Allgemeinen durchaus nicht der Fall ist. Frisch amalgamirtes Zink wird von einer neutralen Zinkvitriollösung, die durch Auskochen von Luft befreit ist, nicht angegriffen, gibt aber gleichwohl einen kräftigen elektrischen Strom, wenn man es mit Platin oder sonst einem negativen Metall in Verbindung bringt. In der Grove'schen Kette steht Platin mit concentrirter Salpetersäure und Zink

*) Die Contacttheorie etc. Heidelberg 1845.

mit verdünnter Schwefelsäure in Berührung. Ersetzt man nun die letztere durch eine concentrirte Auflösung von Zinkvitriol, so bleibt der Strom mindestens eben so stark, obschon das Zink von dieser Auflösung keine primäre chemische Action erleidet. So gibt es noch viele Combinationen, wie z. B. von Platin und Kupfer in einer Kupfervitriollösung, Platin und Eisen in Eisenvitriolauflösung etc., die mehr oder weniger starke Ströme ohne primäre chemische Action geben.

Die Fälle, wo bei Kettencombinationen mit zwei gleichbleibenden Metallen und wechselnden elektrolytischen Flüssigkeiten die Grösse der elektromotorischen Kraft sich unverändert erhält, führt Schönbein*) auf den Satz zurück, dass die Grösse der elektromotorischen Kraft, welche zwei Metalle in einer oxyelektrolytischen Flüssigkeit zeigen, gleich dem Unterschiede der Stärke sei, mit welcher diese Metalle den Sauerstoff des Wassers oder irgend eines oxyelektrolytischen Körpers anziehen. Ob nun die Metalle in entgegengesetzten Richtungen ihre Anziehung ausüben, gegen den Sauerstoff des reinen Wassers z. B., oder gegen den Sauerstoff von Wasser, das mit Schwefelsäure, Kali u. s. w. vergesellschaftet ist, immer bleibe der zwischen der Grösse dieser Anziehungen bestehende Unterschied der gleiche, weshalb denn auch die Grösse der elektromotorischen Kraft sich unverändert erhalte.

Faraday stellte zu Gunsten seiner Ansicht noch eine Reihe von Versuchen an**), bei denen er durch Erwärmung der betreffenden Flüssigkeit die chemische Kraft abzuändern suchte, ohne sonst in dem Contact der Metalle eine Störung herbeizuführen. Die Flüssigkeit befand sich in einer doppelschenkligten Glasröhre, in deren Schenkel bald ganz homogene, bald ungleichartige Metalldrähte eingesenkt wurden. Durch Erwärmung des einen Schenkels suchte nun Faraday die hier stattfindende chemische Action zu verändern. Allein die von ihm beobachteten Erscheinungen erklären sich sämmtlich durch das in Folge der Temperaturerhöhung abgeänderte Contactverhältniss zwischen Metall und Flüssigkeit, wobei jedoch noch zu berücksichtigen ist, dass durch Erhöhung der Temperatur auch das

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 301.

**) Pogg. Ann. Bd. LIII. S. 316.

Leitungsvermögen der Flüssigkeit und der sogenannte Uebergangswiderstand zwischen Metall und Flüssigkeit eine Veränderung erfährt. Und auf dieselbe Weise erklärt man die Erscheinungen, die Faraday*) von der Einwirkung einer Verdünnung der Flüssigkeit auf die erregende chemische Kraft herleitet.

Nicht selten hat man zu Gunsten der chemischen Theorie das von Faraday aufgefundene elektrolytische Gesetz angeführt, nach welchem zur Zersetzung äquivalenter Stoffmengen gleiche Elektrizitätsmengen erforderlich sind. Dagegen hat aber Poggendorff treffend bemerkt, dass hier ein Irrthum hinsichtlich der Beweisfähigkeit dieses Gesetzes stattfinde, der daraus entsprungen, dass man voraussetzte, was erst durch dasselbe erwiesen werden sollte, dass nämlich die Elektrizitätserregung durch die Auflösung des Zinks geschehe, während doch in Wirklichkeit diese Auflösung die Wirkung, das Erzeugniss des elektrischen Stromes sei. Dann ist auch dieses Gesetz als eine allgemeine Eigenschaft aller elektrischen Ströme zu betrachten, so dass es selbst solchen zukommt, die einen anderen Ursprung als die Volta'schen haben. So hat dasselbe, wie Poggendorff gezeigt, für die magnetoelektrischen Ströme seine volle Geltung, und es kann keinem Zweifel unterliegen, dass es auch bei allen anderen Strömen so ist, falls dieselben nur die zur Elektrolyse nöthige Intensität besitzen.

Nach Schönbein**) läuft der zwischen der Ansicht der Contactisten und der seinigen bestehende Unterschied im Wesentlichen darauf hinaus, dass er den Sitz der elektromotorischen Kraft, z. B. einer Kette oder Säule aus Zink, Platin und Wasser, an die Berührungsstelle von Zink und Wasser setze und die elektromotorische Kraft in der chemischen Anziehung suche, welche das Zink gegen den Sauerstoff des Wassers ausübe, während der Contactist die elektromotorische Kraft vorzugsweise an den Berührungsstellen von Zink und Platin thätig sein lasse und von den chemischen Beziehungen des Zinks und Platins zu den Bestandtheilen des Wassers gänzlich absehe.

*) Ebenda S. 479.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 295.

Schönbein*) macht der Contacthypothese den Vorwurf, dass dieselbe zum Behufe der Erklärung der Volta'schen Erscheinungen eine neue Kraft voraussetze, und zwar eine Kraft, deren Wirkungsgrösse in gar keinem endlichen Verhältnisse zur Grösse der Massen der Materie stehe, in denen man sie (die Kraft) wirksam sein lasse, eine Kraft also, welcher man ununterbrochen Arbeit zumuthe, ohne dass ihr gestattet wäre, sich je zu erschöpfen; während dagegen die chemische Theorie aus einer schon durch anderweitige Wirkungen bekannten Kraft auch die Volta'schen Erscheinungen entspringen und dieselbe nach bekannten Gesetzen wirken lasse.

Wenn man die sogenannte elektromotorische Kraft als eine selbstständige betrachtet, welche ihren Sitz an den Berührungstellen ungleichartiger Körper haben und hier damit beschäftigt sein soll, die letzteren in entgegengesetzt elektrische Zustände zu versetzen, so ist dieselbe allerdings ein Unding. An eine solche Kraft braucht man aber auch bei der Contacttheorie gar nicht zu denken. Nach unserer Theorie ist der materielle Gegensatz zweier verschiedenartiger Körper die Ursache, durch welche das Elektricum genöthigt wird, aus dem einen Körper in den anderen überzugehen, so dass dann der erste positiv, der zweite negativ elektrisch wird; und diese Ursache ist in der früher angegebenen Weise so lange wirksam, als der materielle Gegensatz beider Körper unverändert fortbesteht. Die Grösse des elektrischen Gegensatzes solcher Körper ist aber bedingt durch die Grösse ihres materiellen Gegensatzes, welcher die chemische Differenz dieser Körper oder, wenn man will, den Unterschied der Grade ihrer Oxydirbarkeit als Factor in sich schliesst. Werden nun zwei ungleichartige Metalle mit irgend einer elektrolytischen Flüssigkeit zu einer Kette verbunden, so erfahren die heterogenen Bestandtheile dieser Flüssigkeit von beiden Metallen entgegengesetzte Einwirkungen, so dass sich ihr elektronegativer Bestandtheil dem positiven, der elektropositive Bestandtheil aber dem negativen Metall zuwendet, wodurch sie die Tendenz erhalten, nach entgegengesetzten Richtungen auseinander zu tre-

*) Ebenda S. 306.

ten, und dies mehr oder weniger, je nach ihrem eigenen materiellen und dem dadurch bedingten elektrischen Gegensatze, welcher wieder mit dem Gegensatze der beiden Metalle zueinander in Beziehung steht. So ist denn hiernach auch die elektrische Erregung zwischen Metall und Flüssigkeit bedingt durch den materiellen oder chemischen Gegensatz derselben, und dies Alles zusammen macht mit Rücksicht auf die bereits dargelegten Erörterungen begreiflich, dass auch nach der Contacttheorie zwischen den elektrischen Erscheinungen hydroelektrischer Ketten und dem chemischen Verhalten ihrer Bestandtheile eine innige Beziehung stattfindet.

Setzt man die Ursache der elektrischen Erscheinungen auf die obige Art und Weise in eine Polarität der kleinsten Massentheilchen, die auch schon bei der blossen Berührung ungleichartiger Körper hervortreten könne, so wird die so veranlasste Polarität sich hinzugesellen zu der anderen, welche durch die chemische Action in der Kette entsteht, und dieselbe je nach den Umständen bald fördern, bald hemmen. In diesem Sinne sind beide Theorien, die chemische und Contact-Theorie, nicht wesentlich voneinander unterschieden, und der zwischen ihnen erhobene Streit erscheint als ziemlich bedeutungslos. Es wird aber gewiss einleuchten, dass die chemische Theorie, falls sie den ihr eigenthümlichen Charakter in voller Reinheit und Consequenz behaupten soll, von der Annahme eines besonderen elektrischen Fluidums ganz und gar absehen, und sich zu jener Polaritätslehre erweitern muss, damit sie auch für die übrigen elektrischen Erscheinungen einigermaßen Erklärungsfähigkeit gewinne. Die Hauptfrage, die allerdings von einer tief wissenschaftlichen Bedeutung ist, kann dann nur noch die sein, ob nämlich diese Polaritätslehre sich aufrecht erhalten lasse, was wir unserer Seits auf Grund schon angestellter Betrachtungen einstweilen verneinen müssen. Die That-sachen des Galvanismus, wie der Elektrizität überhaupt, erklären sich hingegen ohne erhebliche Schwierigkeiten, und, wie es scheint, auch mit grösserer Evidenz, wenn man das, worauf die Mehrzahl der elektrischen Erscheinungen doch unverkennbar hindeutet, nämlich ein selbstständiges Fluidum ausdrücklich

anerkennt. Nirgends aber im Gebiete der Elektrizitätslehre scheint ein Bedürfniss zur Annahme eines zweiten elektrischen Fluidums vorhanden zu sein. Die zu leistende Erklärung wird dadurch nur verwickelter, ohne an Evidenz zu gewinnen.

Setzt man die Ursache der elektrischen Erscheinungen auf die obige Art und Weise in eine Reihe der kleinsten Massen theilen, die auch schon bei der kleinsten Theilung ungetrennt bleiben, so wird die so vertheilte Polarität sich fortgesetzt zu den anderen, welche durch die chemischen Action in der Reihe entsteht, und dieselbe in nach den Umständen bald bald hemmen, in diesem Sinne sind beide Theorien, die chemische und Contact-Theorie, nicht wesentlich voneinander unterschieden, und der zwischen ihnen bestehende Streit erscheint als reinlich bedingungslos. Es wird aber gewiss einzuwenden, dass die chemische Theorie, falls sie den ihr eigenthümlichen Charakter in voller Reinheit und Consequenz behaupten will, von der Annahme eines besonderen elektrischen Fluidums ganz und gar absehen, und sich an ihrer Polaritätslehre erweitern muss, damit sie auch für die übrigen elektrischen Erscheinungen einigermassen Erklärung angedeihen lassen. Die Hauptfrage, die allerdings von einer viel wissenschaftlichen Bedeutung ist, kann dann nur noch die sein, ob nämlich diese Polaritätslehre sich auf die in diesem Sinne, wie wir uns jetzt auf Grund schon angestellter Beobachtungen vereinigen müssen. Die That- sachen des Galvanismus, wie die Elektricität überhaupt, erklären sich hingegen ohne erhebliche Schwierigkeiten, und wie es scheint, auch mit grösserer Evidenz, wenn man die, wenn die Mehrzahl der elektrischen Erscheinungen doch unverkennbar hindeutet, nämlich ein selbstständiges Fluidum ausdrücklich

Viertes Kapitel.

Elektrische Ströme durch Induction.

68. Unter der elektrischen Induction versteht man bekanntlich eine besondere Art von Erregung elektrischer Ströme in einem geschlossenen Leiter, wenn in dessen Nähe sich ein anderer von Electricität durchströmter Leiter oder auch ein Magnet befindet.

Auf einer Rolle oder Spule von Holz seien in bekannter Weise zwei mit Seide überspinnene Kupferdrähte A und B in vielen Windungen neben einander aufgewickelt. Werden nun die Enden des einen Drahtes A mit den Polen einer galvanischen Kette, die des anderen mit den Drahtenden eines Galvanometers (Multiplicators) gut verbunden, so zeigt die Ablenkung der Magnetnadel einen Strom (im Drahte B) an, dessen Richtung der des galvanischen Stromes entgegengesetzt ist. Dieser Strom ist jedoch nicht dauernd, denn bald kehrt die Nadel in ihre Ruhelage zurück. Oeffnet man aber die galvanische Kette, wodurch der anfängliche Strom in A unterbrochen wird, so entsteht in dem Nebendrahte B ein zweiter Strom, welcher die entgegengesetzte Richtung des vorigen oder gleiche Richtung mit dem verschwindenden Hauptstrome in A hat. Nach wenigen Momenten verliert sich auch dieser Strom und die Nadel geht auf den Nullpunkt zurück.

Eine Vermehrung und Verminderung der Stromstärke hat bei fortdauerndem Geschlossensein der Kette auf den Nebendraht im Wesentlichen denselben Erfolg wie das Schliessen und Oeffnen der Kette. Befindet sich nämlich in der galvanischen Kette neben dem Drahte A noch ein anderer Draht von beträchtlicher Länge eingeschaltet, so wird die Stromstärke vermehrt werden, wenn man diesen

Draht, ohne die Kette zu öffnen, hinwegnimmt. Die momentane Ablenkung der Magnetnadel zeigt dann im Drahte B einen Strom an, dessen Richtung der des anfänglichen in A entgegengesetzt ist. Dagegen wird durch die Verminderung der Stromstärke in dem Drahte B ein elektrischer Strom erregt, der mit dem galvanischen Strome gleiche Richtung hat.

Dieselben Erscheinungen treten zu Tage, wenn man einen von Elektrizität durchströmten Leiter einem anderen geschlossenen Leiter nähert oder davon entfernt. Man nimmt zwei getrennte Drahtrollen, von denen die eine über die andere geschoben werden kann, und verbindet die Enden der einen Rolle, wie vorher, mit dem Galvanometer, die Enden der anderen mit den Polen einer galvanischen Kette. Sind nun beide Rollen so gegeneinander gestellt, dass ihre Axen zusammenfallen, so zeigt die Nadel im Galvanometer, wenn man die eine Rolle der anderen nähert, einen Strom von kurzer Dauer an, der dem galvanischen Strome entgegengesetzt ist. Werden hierauf beide Rollen von einander entfernt, so entsteht in der mit dem Galvanometer verbundenen Rolle ein Strom, welcher mit dem galvanischen in gleicher Richtung fließt.

Man nennt nun solche Ströme, welche durch die Wirkung eines von der Elektrizität durchströmten Leiters hervorgebracht werden, *inducirte* oder *Inductions-Ströme*, oder auch in Bezug auf den anfänglichen Strom, den man den primären oder *inducirenden* nennt, *secundäre Ströme*.

In Bezug auf die Richtung des inducirten Stromes hat *Lenz* folgende allgemein geltende Regel aufgestellt: „Wenn sich ein metallischer Leiter in der Nähe eines galvanischen Stromes bewegt, so entsteht in ihm ein elektrischer Strom, der eine solche Richtung hat, dass er in dem ruhenden Leiter eine Bewegung hervorgebracht hätte, die der hier dem Leiter gegebenen gerade entgegengesetzt wäre.“

Denkt man sich z. B. den Leiter zu dem galvanischen Strome hin bewegt, so müsste der in ihm inducirte Strom gerade eine der seinigen entgegengesetzte Richtung haben, wenn in Folge der bekannten elektrodynamischen Wechselwirkung mit dem inducirenden Drahte eine solche Annäherung beider Drähte stattfinden sollte, wie man sie zum Behufe der Erzeugung des Inductionsstromes durch eine äussere mechanische Kraft hervorgebracht hat. Wenn hiernach

in der Nähe eines geschlossenen metallischen Leiters ein elektrischer Strom entsteht, so hat der in dem ersteren auftretende Inductionsstrom eine solche Richtung, dass zwischen ihm und dem induciren- den Leiter eine Abstossung erfolgt.

Die inducirten Ströme zeigen nun im Wesentlichen alle Eigenschaften eines gewöhnlichen elektrischen Stromes, wie Licht- und Wärmeerscheinungen, magnetische und physiologische Effecte, etc.

69. Auch der Schliessungsdraht einer Leidner Flasche oder Batterie erregt in einem benachbarten Drahte einen Strom, dessen Richtung jedoch, wie Riess fand, mit dem primären oder Entladungsstrome der Flasche stets gleiche Richtung hat. Die wahrscheinlichste Ursache dieses Umstandes sieht man darin, dass der hier auftretende Nebenstrom die Folge von dem Aufhören des primären ist, weil die Anfangswirkung des letzteren, welche einen Strom in entgegengesetzter Richtung induciren würde, von dem Ende der Entladung durch einen so ausserordentlich kurzen Zeitraum getrennt ist, dass sie keinen wahrnehmbaren Effect hervorzubringen vermag. Die Stärke des Nebenstromes bestimmte Riess aus der Erwärmung eines in ein Luftthermometer eingeschlossenen Platindrahtes. Er fand, dass die im Nebendrahte erregte Elektrizitätsmenge der wirksamen Länge des Hauptdrahtes direct und der Entfernung beider Drähte umgekehrt proportional ist. Die im Nebendrahte erregte Elektrizitätsmenge ist auch um so grösser, je paralleler die beiden Drähte laufen. Der Nebenstrom circulirt in einer der Dauer der Hauptentladung proportionirten Zeit, wirkt aber auf die Entladung im Hauptdrahte (Schliessungsdraht der Flasche) zurück, dergestalt, dass er die Dauer der Entladung in dem Verhältnisse vergrössert, in welchem das Leitungsvermögen des Nebendrahtes schwächer als das des Hauptdrahtes ist. Wird die Schliessung des Nebendrahtes progressiv verlängert, so nimmt die Einwirkung desselben auf die Batterieentladung zu, erreicht ein Maximum, und nimmt von da, wenn man mit Verlängerung fortfährt, wieder beständig ab. Der Grund dieses Verhaltens liegt nach Riess darin*), dass die Flaschen- oder Batterieentladung als eine Folge partieller Entladungen anzusehen ist, von welchen jede in dem Nebendrahte einen elek-

*) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 177. 182.

trischen Strom erregt, der bei besserer oder schlechterer Leitung eine kürzere oder längere Zeit hindurch besteht. Das Verschlechtern der Leitung des Nebendrahtes bewirkt ein längeres Bestehen des Nebenstromes, so dass eine Partialentladung der Batterie eintreten kann, während der von der vorhergehenden Entladung erregte Strom noch fortbesteht. Je weiter der erste Nebenstrom in die Dauer der zweiten Batterieentladung eingreift, desto stärker muss seine Einwirkung auf dieselbe sein. Denkt man sich aber den Punkt erreicht, wo der erste Nebenstrom die ganze Zeit der zweiten Batterieentladung ausfüllt, so wird die Dauer desselben von geringerem Einflusse sein, als ein anderer diesem Einflusse entgegenwirkender Umstand. Die Kraft eines elektrischen Stromes wird bekanntlich vermindert durch Verlängerung der Leitung, die er zu durchlaufen hat, und ein so geschwächter Strom muss auch nothwendig die hier betrachtete Einwirkung weniger kräftig äussern. So lange die Dauer des Nebenstromes die Dauer der partiellen Batterieentladung nicht erreicht hat, wird die Schwächung des Stromes überwogen durch die längere Zeit, in der er auf den Hauptstrom einwirkt; erst wenn das Maximum der Einwirkung des Nebendrahtes eingetreten ist, wird mit progressiver Verlängerung der Nebenschliessung die immer schwächer werdende Einwirkung desselben bemerkbar sein. Wenn nun die zweite Partialentladung gegen die erste verzögert worden ist durch Einfluss des ersten Nebenstromes, so wird der zweite Nebenstrom länger dauern als der erste, in die dritte Partialentladung weiter eingreifen und dieselbe noch bedeutender verzögern können. So wird auch weiterhin jede Partialentladung durch den Einfluss des Nebenstromes gegen die vorhergehende verzögert sein. Die Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom ist übrigens desto stärker, je längerer Theil der Nebenschliessung auf den Hauptdraht wirkt. Die Stärke des Nebenstromes nimmt aber in einem geringeren Verhältnisse zu, als die Länge des wirkenden Hauptdrahtes, und ist zugleich abhängig von der Entladungszeit des Hauptstromes, die eben durch Rückwirkung des Nebenstromes auf den Hauptstrom verändert worden.

Der von dem Schliessungsdrahte einer elektrischen Batterie in einem nahe gelegenen Drahte erregte Strom kann wieder in einem nahen Drahte einen zweiten Strom induciren, dieser unter gleichen Umständen einen dritten, u. s. f. Man nennt nun alle diese durch Induction entstandenen Ströme, welche mit dem Entladungsstrom

zugleich auftreten, Nebenströme oder Inductionsströme höherer Ordnung. Dieselben sind gleichfalls von Riess genauer untersucht worden *), der in Hinsicht auf die Richtung dieser Ströme feststellte, dass die Ströme dritter, fünfter und überhaupt ungerader Ordnung eine unter sich gleiche Richtung haben. Sehr wahrscheinlich ist auch diese Richtung der des Hauptstromes gleich, so dass alle Ströme höherer Ordnung dem Hauptstrome gleichgerichtet sind.

70. Faraday zeigte zuerst durch entscheidende Versuche, dass auch ein Magnet die Eigenschaft besitzt, in einem geschlossenen Leiter das elektrische Gleichgewicht aufzuheben und dadurch einen Strom zu erzeugen. Die Sache selbst wurde vermuthet, da man wusste, dass ein gewöhnlicher Magnet sich gewissermassen wie eine cylindrische Drahtspirale verhält, deren Windungen von einem continuirlichen elektrischen Strome durchflossen werden.

Wenn man den Pol eines kräftigen Magnets in die Höhlung einer cylindrischen Drahtrolle, welche aus einer grösseren Anzahl von Windungen besteht und an ihren Enden mit einem Galvanometer verbunden ist, etwa bis zur Mitte schnell hineinschiebt, so zeigt die Magnetnadel einen Strom in der Drahtrolle an, der aber bald wieder verschwindet, wenn man den Magnetstab ruhig in der Höhlung liegen lässt. Nimmt man aber den Stab wieder aus der Drahtrolle heraus, so weicht die Nadel nach der entgegengesetzten Seite aus und verräth mithin einen Strom, dessen Richtung der des vorigen entgegengesetzt ist. Man kann natürlich auch umgekehrt so verfahren, dass man eine hohle Drahtrolle über den einen Pol eines Magnetstabes bis zur Mitte desselben schiebt, und dieselbe darauf in die anfängliche Lage zurück- oder statt dessen über den anderen Pol hinausführt. Auch dann erhält man in derselben Weise wie vorher zwei Inductionsströme von entgegengesetzter Richtung.

Man nennt diese durch Magnetismus inducirten Ströme magnet-elektrische Ströme, die alle Eigenschaften der oben betrachteten Inductionsströme haben, und mit diesen bezüglich ihres Ursprunges höchst wahrscheinlich auf demselben Princip beruhen.

Die Richtung dieser magnetelektrischen Ströme bestimmt sich nach folgender von Lenz aufgestellten Regel: „Wenn ein Leiter in der Nähe eines Magneten oder umgekehrt ein Magnet in der Nähe

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 309.

Cornelius, E. & M.

eines Leiters in Bewegung geräth, so wird in diesem ein elektrischer Strom inducirt, dessen Richtung gerade die entgegengesetzte sein müsste, wenn vermöge der Wechselwirkung des Leiters mit dem Magneten die Bewegung entstehen sollte, welche zum Behufe der Erzeugung des magnetelektrischen Stromes durch eine äussere mechanische Kraft wirklich hervorgebracht worden ist.“ So wird also ein frei beweglicher Leiter eine Abstossung erfahren, wenn ein hinreichend kräftiger Magnetpol in seine Nähe kommt.

Die elektromotorische Kraft, welche der inducirende Magnetismus in einer Spirale erregt, ist aber gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte der einzelnen Windungen. Darum verhält sich bei hinreichender Länge des Magneten die elektromotorische Kraft der Spirale, unter sonst gleichen Umständen direct wie die Anzahl der Windungen.

Aus der Induction elektrischer Ströme durch den Magnetismus folgt bekanntlich, dass auch die Nadel eines Galvanometers, wenn sie aus ihrer Ruhelage heraus- oder in dieselbe zurücktritt, in dem umgebenden Drahte elektrische Ströme erzeugt, die auf sie selbst zurückwirken müssen.

Auch durch die Rotation eines Magneten um seine Axe entstehen, wie Faraday gezeigt, elektrische Ströme, welche ein Galvanometer zu erkennen gibt, wenn man das eine Ende des Magneten und eine Stelle zwischen seinen Polen mit den Drahtenden des Galvanometers in leitende Verbindung bringt. Es sei der Magnetstab mit seinem Nordpol nach oben gerichtet und der letztere, sowie auch die Mitte des Stabes mit dem Galvanometer in Verbindung. Gibt man nun dem Magneten eine Drehung um seine Axe, die in ihrer Richtung mit der Bewegung des Zeigers einer Uhr (mit dem Zifferblatt nach oben) übereinstimmt, so zeigt das Galvanometer einen elektrischen Strom an, der von der Mitte des Magnetstabes nach dem Nordpol desselben gerichtet ist. Geschieht die Drehung gegen die des Uhrzeigers, so geht der erregte Strom vom Pol zur Mitte. Ist aber der Südpol nach oben gekehrt und zugleich die Mitte des Stabes mit dem Galvanometer in Verbindung gesetzt, so ist der Strom bei der ersten Drehung vom Pol zur Mitte, bei der zweiten von der Mitte zum Pol gerichtet. Dieser Versuch ist das Gegenstück zu dem bekannten elektromagnetischen, wo ein um seine eigene Axe drehbarer Magnet um dieselbe in dem einen oder anderen Sinne rotirt, je nachdem ein galvanischer

Strom von dem einen oder anderen seiner Pole bis zur Mitte oder in entgegengesetzter Richtung durch seine Masse geht.

W. Weber*) nannte diese Art der Stromerzeugung durch einen Magneten die unipolare Induction. Ein gewöhnlicher Magnetstab ist zu betrachten als ein Inbegriff polar erregter Theilchen, so dass jedes magnetische Molecül oder kleinste Massentheilchen aus zwei entgegengesetzten Hälften (Polen) besteht. Wird ein solcher Magnet bewegt, so wird in einem benachbarten Leiter ein elektrischer Strom inducirt, der so beschaffen ist, dass man ihn in zwei Ströme zerlegen kann, von denen der eine durch die Bewegung des nördlichen Pols, der andere durch die Bewegung des südlichen entsteht. Diese Induction zweier Ströme durch die Bewegung beider Pole nennt Weber im Allgemeinen die bipolare Induction. Es ist aber auch eine Induction denkbar, wobei entweder bloß ein magnetisches Element (Pol) bewegt wird, und also der von dem anderen inducirte Strom stets Null ist, oder das andere Element des magnetischen Molecüls aufeinander folgende Ströme von entgegengesetzter Richtung inducirt, deren Summe Null ist, so dass auch hier bloß derjenige Strom bleibt, welcher von dem ersteren Pol inducirt ist. Diese Induction eines Stromes durch die Bewegung eines magnetischen Elements wird unipolare Induction genannt.

Denkt man sich nun ein magnetisches Molecül gegen einen geschlossenen metallischen Ring so bewegt, dass jedes Element (Pol) eine in sich zurückkehrende Bahn beschreibt, und zwar so, dass der eine Pol die Ringebene durchschneidet, während die Bahn des anderen Pols ganz ausserhalb des Ringes bleibt, was freilich nur möglich ist, wenn der Ring bei der Bewegung des Molecüls durchbrochen werden kann, ohne dass die metallische Schliessung desselben aufgehoben wird. Der durch die Ringebene gehende Pol erregt dann während seiner Bewegung einen Strom von stets einerlei Richtung, der andere aber gar keine oder vielmehr zwei ungleichartige Ströme, deren Wirkung im Ganzen verschwindet. Der Ring kann aber durchbrochen werden ohne Unterbrechung des Kreislaufes, wenn das untheilbare magnetische Molecül so beschaffen ist, dass der galvanische Strom mitten zwischen beiden Polhälften hindurch

*) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 353.

gehen kann, weil dann das Molecül während der Durchbrechung des Ringes die leitende Gemeinschaft unterhält. Der Galvanometerdraht bildet nun mit jeder Linie, die man sich im Magneten zwischen den Berührungspunkten des letzteren mit den Drahtenden des Galvanometers denken kann, einen solchen Ring, in welchem durch magnetische Molecüle, die nur der einen Hälfte nach hindurchgehen, ein Strom in stets einerlei Richtung erregt wird.

Nach einer Untersuchung von Plücker*) bleibt die magnet-elektrische Erregung dieselbe, wenn ein Leitungsdraht sich um einen magnetischen Pol in irgend einer beliebigen in sich geschlossenen Curve hinzieht, und zwar gleich derjenigen in einem unbegrenzten geradlinigen Leiter, um welchen derselbe Pol in einer beliebigen in sich geschlossenen Curve sich herumdreht. Die Erregung verschwindet aber für jeden in sich geschlossenen Leiter, wenn die von dem Pole beschriebene gerade Linie ausserhalb desselben liegt.

71. Statt der directen Wirkung eines Magnets verwendet man zur Erzeugung magnetelektrischer Ströme bekanntlich mit Vorthail auch den vorübergehenden durch Vertheilung hervorgerufenen Magnetismus des weichen Eisens. Schiebt man nämlich in die Höhlung einer Drahtrolle einen cylindrischen Eisenstab, und nähert man dann dem einen oder anderen Ende des letzteren einen Magnetpol, so entsteht in den Windungen der Rolle ein Strom von derselben Richtung, als wenn man den Magneten allein der Drahtrolle in gleichem Sinne genähert hätte. Doch ist der durch den Magnetismus des weichen Eisenkerns erweckte Strom von grösserer Intensität, als der durch die gleiche Annäherung des Magnets (ohne den Eisenkern) entstehende Strom sein würde. Durch die Entfernung des Magnetpols vom Eisen, wobei dieses seinen Magnetismus verliert, tritt in der Rolle ein gleich starker Strom von entgegengesetzter Richtung hervor. Zweckmässiger noch kann man zum Behufe einer stärkeren Wirkung den beiden Enden des Eisenstabes die ungleichartigen Pole eines passenden Hufeisenmagnets nähern. Der Eisenstab wirkt dann ebenso, als ob man in die Höhlung der Drahtrolle von der einen Seite her einen Nordpol, von der anderen aber einen Südpol hineingeschoben hätte. Da nun beide Pole ihre Bewegung gegen die Drahtrolle hin in entgegengesetztem Sinne vollführen, so müssen sie in den Windungen der letzteren

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 352 — 386.

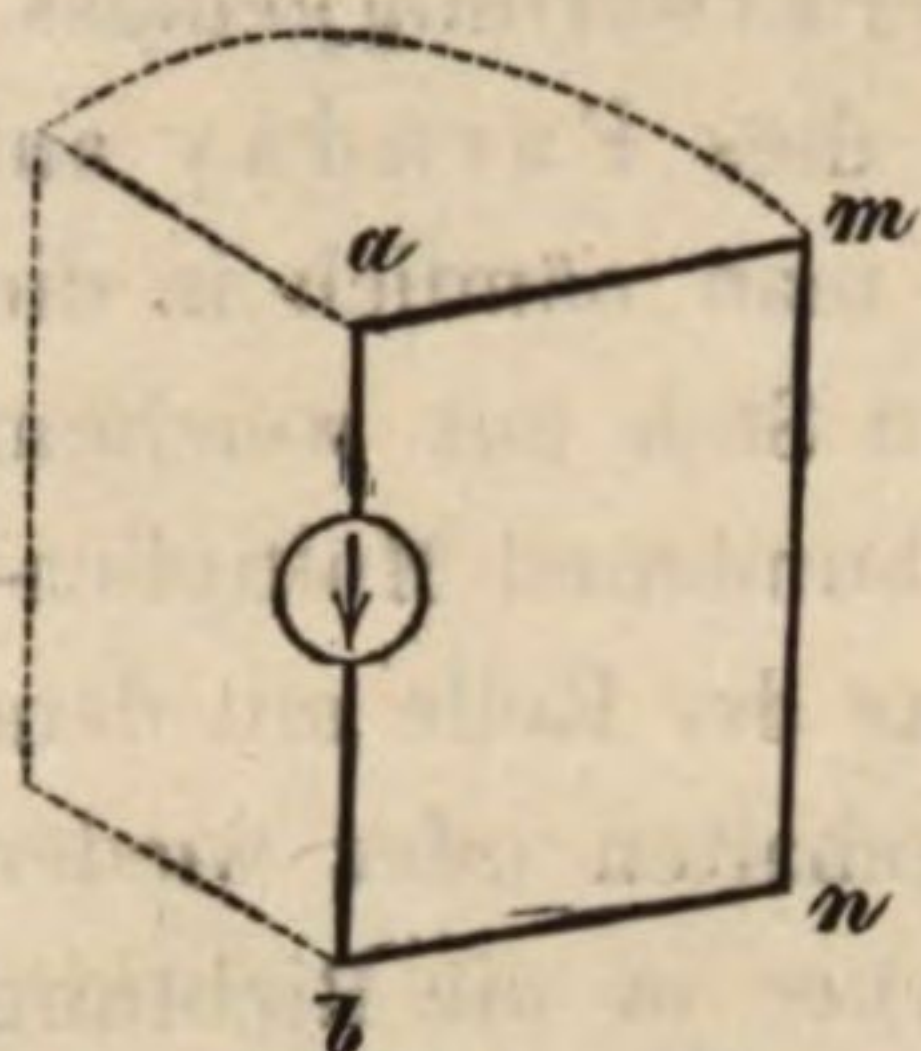
Ströme von gleicher Richtung induciren. Zieht man den Hufeisenmagnet wieder zurück, so verhält es sich gerade so, als ob aus der Drahtrolle zwei ungleichartige Magnetpole nach entgegengesetzten Richtungen herausgezogen worden wären.

Auch durch den Erdmagnetismus können, der Erwartung gemäss, elektrische Ströme hervorgebracht werden, wie dies Faraday auf verschiedene Weise nachgewiesen hat. Steckt man nämlich in die Höhlung einer Drahtrolle einen unmagnetischen Stab aus weichem Eisen, so entsteht in dem mit der Drahtrolle verbundenen Multiplicator eine Ablenkung der Magnetnadel, wenn die Axe der Rolle mit dem Stabe in die Richtung einer Inclinationsnadel gehalten oder wieder daraus entfernt wird. Wird die Drahtrolle vorher in die Richtung der Inclinationsnadel gebracht und dann ein weicher Eisencylinder hineingesteckt, so weicht die Multiplicatornadel augenblicklich ab. Beim Herausziehen des Cylinders geht die Nadel nach der anderen Seite, und die Resultate sind überhaupt dieselben, als ob von oben her der Nordpol oder von unten her der Südpol eines Magnets in die Drahtrolle geschoben worden wäre. Wenn man aber die Drahtrolle, während der Eisencylinder in ihr fest liegt, schwingend auf- und abbewegt, so dass das eine Ende des Cylinders in der Richtung der Inclination abwechselnd nach oben und nach unten gekehrt ist; so beschreibt die Multiplicatornadel nach öfterer Wiederholung dieser Umkehrung einen grösseren Bogen.

Diese Erscheinungen sind eine nothwendige Folge der vertheilenden Wirkung des Erdmagnetismus, wodurch der Eisencylinder zu einem Magneten wird, dessen nördlicher Pol nach unten liegt. Der Versuch ist dem obigen ähnlich, wo die beiden ungleichartigen Pole eines Hufeisenmagnets zur Magnetisirung desselben Eisencylinders in derselben Drahtrolle angewendet werden, und die Umkehrung der Stellung im gegenwärtigen Versuche hat den nämlichen Erfolg wie die Polumkehrung in jenem Versuche.

Der Erdmagnetismus kann auch unmittelbar, ohne Anwendung eines Stabes aus weichem Eisen einen elektrischen Strom induciren. Nachstehende Vorrichtung erschien Faraday als die einfachste und zweckmässigste, um die Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus, ohne Mitwirkung eines Eisenstabes, nachzuweisen. Ein etwa 8 Fuss langer, 0,05 Zoll dicker Kupferdraht wird mit seinen Enden an die Endstücke des Galvanometerdrahtes befestigt,

und dann roh in die Gestalt eines Rechtecks gebogen. Die untere Seite dieses Rechtecks nebst dem damit verbundenen Galvanometer wird befestigt, die obere Seite aber beweglich gelassen. Wird dieses Rechteck von der Rechten zur Linken über dem Galvanometer fort-



geführt, so weicht die Nadel augenblicklich ab; wird es zurückgeführt, so weicht sie nach der entgegengesetzten Seite ab. Werden diese Bewegungen des Rechtecks in Uebereinstimmung mit den Oscillationen der Magnetnadel wiederholt, so lässt sich die letztere zu einer Schwingung von 90° und mehr bringen. Gibt man $a b$ die Richtung des magnetischen Aequators, und bewegt man $m n$ von Nord nach Süd, so zeigt die Galvanometernadel einen Strom an, der in $m n$ von West nach Ost geht, Dreht man dagegen $m n$ von Süd nach Nord, so hat der Inductionsstrom in $m n$ die Richtung von Ost nach West. Die Wirkung kann verstärkt werden, wenn man einen Draht in vielen Windungen um einen hölzernen Rahmen herumführt. Palmieri *) wickelte eine Spirale von 200 Windungen um einen elliptischen Rahmen, dessen grosse Axe 2,2 Meter und deren kleine Axe 0,6 Meter lang war. Die grosse Axe wurde senkrecht gegen den magnetischen Meridian gestellt und die Spirale um dieselbe gedreht. Durch die Wirkung des Erdmagnetismus wurden dann in dieser Spirale Ströme inducirt, welche physiologische Wirkungen, Funken und Wasserzersetzung hervorbrachten.

72. Befindet sich in der Höhlung einer Drahtrolle, deren Enden mit den Polen einer galvanischen Kette verbunden sind, ein Stab aus weichem Eisen, so wird dieser, wie man weiss, zu einem Elektromagneten. Sind nun um einen hohlen Cylinder von Holz zwei mit Seide besponnene Kupferdrähte gewunden, von denen der eine mit der Kette verbunden, der andere aber irgend wie geschlossen ist, so wird der Inductionsstrom in dem Nebendrahte durch den in der Höhlung des Cylinders befindlichen Elektromagneten verstärkt. Wird die galvanische Kette geöffnet, so entsteht bekanntlich beim Verschwinden des primären Stromes ein mit diesem gleichgerichteter Strom im

*) Compt. rend. T. XVI. p. 1440; T. XVIII. p. 762.

Nebendrahte. Da nun mit dem Aufhören des galvanischen Stromes auch der Eisenstab seinen Magnetismus verliert, und mit dem Verschwinden des letzteren im Nebendrahte ein Strom entsteht, der gleiche Richtung mit dem primären Strome hat, so erkennt man wohl, wie durch die Anwesenheit des Eisenstabes in der Inductionsrolle eine Verstärkung der inducirten Elektrizität herbeigeführt werden muss.

Die Zuckungen, welche man auf diese Weise bei Anwendung einer Drahtrolle mit einem in ihr befindlichen Eisenkern erhält, können bekanntlich noch bedeutend verstärkt werden, wenn man anstatt eines massiven Eisenkerns ein Bündel von Eisendrähten anwendet, die durch einen Firniss- oder Seidenüberzug von einander isolirt sind.

Magnus fand, dass die Wirkung eines solchen Drahtbündels sehr beträchtlich verringert wird, wenn dasselbe von einem geschlossenen Metallcylinder umgeben ist, dass aber die verstärkte Wirkung wieder hervortritt, sobald man diese Umhüllung der Länge nach aufschlitzt. Hiermit ist nun die Erklärung der grösseren Wirksamkeit der Drahtbündel nahe gelegt. Die schwachen Wirkungen der letzteren, wenn sie mit einer Hülle von einem nicht magnetischen Metalle umgeben werden, erklärt man zunächst daraus, dass der beim Oeffnen der Kette aus den Eisendrähten verschwindende Magnetismus nicht sowohl inducirend auf die Drahtspirale, als vielmehr auf die das Drahtbündel umschliessende Metallhülle wirkt, so lange diese einen in sich geschlossenen Leiter bildet, also noch nicht aufgeschlitzt ist. Da nun beim Oeffnen des Schliessungsbogens der galvanischen Kette in jedem benachbarten Leiter ein Strom erzeugt wird von gleicher Richtung wie der verschwindende, so entstehen auch in den Querschnitten einer massiven Eisenmasse, die sich in einer Drahtrolle befindet, bei dem Oeffnen der Kette Ströme von gleicher Richtung, als der in der Spirale vorhandene. Jeder Querschnitt des Eisens bildet nämlich einen neben dem Schliessungsdrahte befindlichen geschlossenen Leiter, auf den der Schliessungsdraht inducirend wirken kann.

Die inducirende Wirkung des Schliessungsdrahtes auf die Drahtspirale fällt aber darum, weil sie sich auf mehrere benachbarte, geschlossene Leiter vertheilt, schwächer aus. Dazu kommt noch, dass durch diese beim Oeffnen der Kette in der Eisenmasse entstehenden Inductionsströme neuer Magnetismus von derselben Art erzeugt, und somit das Verschwinden des vorhandenen Magnetismus verzögert

wird. Die inducirende Wirkung des verschwindenden Magnetismus auf die Drahtspirale muss deshalb vermindert werden, da dieselbe eben durch den Wegfall der bestehenden magnetischen Polarität bedingt ist. In einem Bündel von Eisendrähten dagegen, das nicht von einer metallischen Hülle umschlossen ist, können solche secundäre Ströme nicht wohl aufkommen, da der Querschnitt eines derartigen Bündels keinen in sich geschlossenen Leiter bildet; und deshalb wird auch die aus diesen Strömen resultirende Schwächung der Induction in der Drahtspirale nicht so stattfinden.

Weitere Untersuchungen über diesen Gegenstand hat Dove angestellt, der auch die durch Magnetisiren des Eisens mittelst Reibungselektricität inducirten Ströme in Betracht zog.*) Derselbe gelangte im Wesentlichen zu folgenden Resultaten.

Die inducirende Wirkung derselben Eisenmasse, als ununterbrochenes Continuum, ist im Allgemeinen sehr verschieden von der Wirkung derselben Eisenmasse, wenn sie in isolirte Drähte aufgelöst ist. Diese Verschiedenheit ist aber anderer Art, je nach der Weise, wie das Eisen magnetisirt wurde.

Bei dem Magnetisiren des Eisens durch Annähern an einen Stahlmagneten steigert sich durch Auflösen desselben in Drähte keine Wirkung des vom verschwindenden Magnetismus inducirten Stromes, auch wirkt ein von einer geschlossenen leitenden Hülle umgebenes Drahtbündel, wie ein offen da liegendes.

Bei dem Magnetisiren des Eisens durch den Schliessungsdraht einer galvanischen oder Thermo-Kette bleibt, bei dem Auflösen des Eisens in Drahtbündel, zwar die galvanometrische Wirkung des Stromes, welchen der beim Oeffnen der Kette verschwindende Magnetismus erzeugt, dieselbe, sowie die Eigenschaft dieses Stromes, weiches Eisen zu magnetisiren; seine physiologischen Wirkungen, die bei seiner Unterbrechung erscheinenden Funken und der durch ihn im Stahl hervorgerufene Magnetismus sind aber viel kräftiger. Umgibt man das Drahtbündel mit einer leitenden Hülle, so verhält es sich wie eine massive Eisenmasse. Ist hingegen die Hülle der Länge nach aufgeschnitten, so wirkt es fast so kräftig wie ein offen liegendes.

Der Einfluss leitender Hüllen entsteht durch einen von dem Schliessungsdrahte in denselben inducirten elektrischen Strom, der

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305. Bd. LVI. S. 268.

sich in ihnen nachweisen lässt, wenn man die Ränder der ihrer Länge nach aufgeschnittenen Hüllen durch ein Galvanometer schliesst. Aufgeschnittene Röhren mit unverbundenen Rändern sind eben so unwirksam als umbüllende Drahtspiralen mit unverbundenen Enden, oder aus einem zusammengelegten doppelten Drahte gewickelte mit verbundenen Enden. Hingegen wirken eiserne Drahtbündel umgebende Spiralen mit verbundenen Enden, wie der Länge nach geschlossene Röhren, und beide desto kräftiger, je leitender die Substanz, aus der sie gebildet. Bei dem Magnetisiren der eisernen Drahtbündel durch Annähern an einen Magnet sind sie unwirksam, weil hier kein Schliessungsdraht wie beim Elektromagnetisiren vorhanden ist, der in ihnen einen elektrischen Strom erregt. Bei massiven Eisenstäben wirkt die Oberfläche derselben wie die leitende Hülle, welche ein Drahtbündel einschliesst.

Der in der leitenden Hülle erregte elektrische Strom scheint auf die vom verschwindenden Magnetismus des Drahtbündels in Bewegung gesetzte Elektrizitätsmenge keinen Einfluss zu haben, diese Bewegung selbst aber zu verzögern. Dadurch erklärt sich, dass der von einem Drahtbündel inducirte Strom bei galvanometrischer Gleichheit einen vom massiven Eisen erregten in seiner physiologischen Wirkung übertrifft.

Es sei hier noch besonders hervorgehoben, dass den Untersuchungen Dove's *) zufolge inducirte Ströme bei galvanometrischer Gleichheit ungleich physiologisch wirken können. Die Wirksamkeit eines elektrischen Stromes ist bedingt durch dessen Stärke und Geschwindigkeit; die magnetischen, chemischen, physiologischen und thermischen Wirkungen desselben hängen aber von diesen beiden Factoren nicht in gleicher Weise ab. In Bezug auf das Verhältniss des galvanometrischen Effects eines Stromes zu seiner chemischen Wirkung lässt sich jedoch als erwiesen ansehen, dass für die auf galvanischem Wege und durch Induction erhaltenen elektrischen Ströme die Wasserzersetzung der durch den Multiplicator gemessenen Stärke der Ströme proportional sei. Von zwei galvanometrisch als gleich erkannten Strömen kann man daher gleiche chemische Wirksamkeit erwarten.

Die Versuche Dove's zeigen auch, dass in dem Gebiete der

*) Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 72.

Magnetelektricität sich ähnliche Unterschiede geltend machen, als die sind, welche die Erscheinungen der Reibungselektricität von denen des Galvanismus trennen.

Auch bei der Reibungselektricität zeigen sich Unterschiede der physiologischen und galvanometrischen Wirkungen, je nachdem dieselbe Elektricitätsmenge in längerer oder kürzerer Zeit einen Leiter durchströmt. Der den Körper heftig erschütternde Schlag einer Leidner Flasche vermag nicht eine Magnetnadel abzulenken, er erlangt diese Eigenschaft erst dadurch, dass man durch Einschalten eines nasen Fadens in den Schliessungsbogen dessen Leitungswiderstand vermehrt. Dabei verändert sich die physiologische Wirkung in einer auffallenden Weise, während sich das blendend weisse Licht des Funkens in ein rothgelbes verwandelt. Eben so verschwindet bekanntlich die Erschütterung vollkommen, wenn man die eine Belegung der Flasche in der Hand hält, der anderen aber mit einer Spitze sich allmählig nähert. Auch unter diesen Bedingungen der allmählichen Entladung durch eine genäherte Spitze tritt eine Wirkung auf die Magnetnadel ein.

Aehnliche Bestimmungen wie für die physiologische Wirkung des Stromes scheinen auch zu gelten für seine Eigenschaft, gehärteten Stahl zu magnetisiren; denn entladet man eine Leidner Flasche allmählig durch eine Spitze, so ist der durch den Schliessungsdraht in einer Stahladel hervorgebrachte Magnetismus entweder ganz unmerklich oder viel geringer als bei der gewöhnlichen Entladungsweise durch einen in eine Kugel endenden Auslader.

Wenn daher von zwei in demselben Leiter erregten Strömen, welche am Galvanometer dieselbe Ablenkung hervorbringen, der eine eine stärkere physiologische Wirkung und lebhaftere Funken zeigt als der andere, und zugleich Stahl stärker magnetisirt, so wird man annehmen dürfen, dass in dem ersteren eine gleiche Elektricitätsmenge in kürzerer Zeit bewegt werde als in dem letzteren, und umgekehrt bei gleicher physiologischer und magnetisirender Wirkung zweier Ströme wird der von geringerem galvanometrischen Effect eine im Verhältniss seiner verminderten Stärke grössere Geschwindigkeit haben.

Die angeführten Unterschiede zwischen eisernen Stäben und eisernen Drahtbündeln erreichen nach Dove ihr Extrem, wenn das Magnetisiren derselben durch den Entladungsschlag einer Leidner

Flasche geschieht. Eine Drahtspirale mit Eisenkern inducirt nämlich einen in allen seinen Wirkungen stärkeren Strom in einer sie umgebenden Nebenspirale, als die leere Drahtspirale ohne Eisenkern, wenn der galvanische Strom, welcher dieses Eisen magnetisirte, aufhört. Die Verstärkung der physiologischen Wirkung durch Auflösen dieses Eisenkerns in Drähte ist daher eine Steigerung einer bereits von dem massiven Eisen auch ausgeübten Wirkung. Die inducirende Wirkung der von dem momentanen Strome einer sich entladenden Leidner Flasche durchflossenen leeren Spirale ist hingegen, was die physiologischen und elektroskopischen Wirkungen des Nebenstromes betrifft, grösser, als wenn ein massiver Eisenkern in derselben enthalten ist, dagegen kleiner als die, welche ein darin befestigtes eisernes Drahtbündel hervorbringt. Umgibt man das Drahtbündel mit einer geschlossenen Hülle, so wirkt das vorher verstärkende Bündel nur wie ein massiver Stab, d. h. schwächend. Der thermische Effect des Nebenstromes wird hingegen, sowohl durch massives Eisen als auch durch Drahtbündel geschwächt, die Eigenschaft, Stahl zu magnetisiren, aber verstärkt.

Der physiologische Effect des durch Reibungselektricität inducirten Stromes wird geschwächt durch hineingelegte massive Metallstücke, und verstärkt durch freiliegende Bündel von gefirnissten Drähten, nicht allein wenn letztere aus Eisen bestehen, sondern auch bei solchen aus Messing, Kupfer, Zinn, Antimon und sogar bei Quecksilber in versiegelten Glasröhren. In Bezug auf die Erklärung dieser Erscheinungen stellt Dove*) noch folgende Betrachtungen an,

„Der in einem das Eisen spiralförmig umgebenden Drahte wirksame elektrische primäre Strom erzeugt in dem Momente, wo er entsteht, in dem Eisen elektrische Ströme, während seiner Dauer magnetische Polarität, die sich langsamer steigert als jener Strom, im Moment seines Aufhörens wieder einen elektrischen Strom. Der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte zweite mit dem primären gleichgerichtete elektrische Strom wirkt dem durch den verschwindenden Magnetismus erzeugten entgegen. Hatte, wie es bei galvanischem Magnetisiren der Fall ist, der Magnetismus während der längeren Dauer des Stromes Zeit, sich zu entwickeln, so überwiegt die Wirkung desselben die entgegengesetzte des bei dem Auf-

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 305. 324.

hören des primären Stroms erzeugten elektrischen. Alle gegen die Bildung elektrischer Ströme angewendeten Mittel steigern daher nur eine von massivem Eisen bereits auch ausgeübte Wirkung. Ist hingegen der primäre Strom so schnell vorübergehend wie der einer sich entladenden elektrischen Batterie, hat also der Magnetismus nicht Zeit, sich vollständig zu entwickeln, so überwiegt der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte elektrische die Wirkung des verschwindenden Magnetismus. Das Zerstören dieser elektrischen Ströme durch Auflösen der Masse in Drähte oder die Hemmung ihrer Bildung in einer schlecht leitenden Masse, wie bei dem Nickel, kehrt daher hier die Wirkung vollständig um, indem es den Ausschlag auf Seiten des verschwindenden Magnetismus bringt. Die Gleichgewichtsgrenze beider ist aber für die thermischen, physiologischen und magnetisirenden Wirkungen nicht dieselbe, weil nämlich die Abhängigkeit derselben von der Intensität des verschwindenden Magnetismus eine andere sein wird, als ihre Veränderung durch den entgegenwirkenden elektrischen Strom; für die magnetisirenden Wirkungen waltet daher noch die Wirkung des verschwindenden Magnetismus vor, wenn für die thermischen der erzeugte elektrische Strom überwiegt, und die physiologischen Erscheinungen auf beide Seiten dieser Grenze fallen. “

D o v e *) vermuthet nun, dass die sogenannten unmagnetischen Metalle in Beziehung auf die Eigenschaft des Stromes, Stahl zu magnetisiren, sich so verhalten wie Eisen für die elektroskopischen und physiologischen Eigenschaften desselben, d. h. dass sie unmagnetisch scheinen, weil die mit dem Magnetisiren gleichzeitig erregten elektrischen Ströme die Wirkung der magnetischen Polarität verdecken, dass sie es aber in der That nicht sind. Um die letztere hervortreten zu lassen, kommt es nach D o v e nur darauf an, die Bildung dieser elektrischen Ströme zu verhindern, d. h. jene Metalle ebenfalls in Drähte aufzulösen und dann die Richtung des inducirten Stromes durch Magnetisiren einer Stahlnadel zu prüfen, wozu sich der Differentialinductor **) verwenden lässt. Bei den elektroskopischen und physiologischen Erscheinungen des vom elektromagnetisirten Eisen und Nickel inducirten Stromes stellte sich die auffallende Thatsache heraus, dass der schwächere

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 325. 330.

**) Ebenda S. 305 ff.

magnetische Nickel kräftiger wirkt als das stärker magnetische Eisen, weil in jenem schlechter leitenden Metall die verzögernden elektrischen Ströme sich nicht so gut bilden können, als in dem besser leitenden Eisen; d. h. in Beziehung auf elektroskopische und physiologische Prüfung verhält sich das massive Eisen wie ein unmagnetisches Metall, während es für das Magnetisiren der Nähnadel noch als magnetisches wirkt. Löst man es aber in isolirte Drähte auf, d. h. verhindert man die Bildung verzögernder elektrischer Ströme, so wirkt es auch in dieser Beziehung als magnetisches Metall.

Dove sah sich in Folge dieser Untersuchungen veranlasst, die magnetische Polarisirung als ein von den im Eisen erregten elektrischen Strömen nicht nur unabhängiges, sondern auch entgegengesetzt wirkendes Agens anzuerkennen. *)

73. Wenn man die Enden einer einfachen galvanischen Kette durch einen kurzen Draht mit einander verbindet, so erhält man bekanntlich weder bei dem Schliessen noch bei dem Oeffnen der Kette einen merklichen Funken oder Schlag.

Merklicher schon wird Funke und physiologische Wirkung, wenn man einen sehr langen Schliessungsdraht nimmt, dessen Enden man beim Oeffnen der Kette mit den Händen fasst. Die Intensität dieser Wirkung wird noch erhöht, wenn man den langen Schliessungsdraht zu einer Spirale aufwindet, und eine abermalige Verstärkung tritt ein, wenn man in die Spirale oder Drahtrolle einen Stab aus weichem Eisen geschoben hat. Die auf solche Weise gesteigerte Wirkung zeigt sich jedoch nur bei dem Oeffnen, nicht aber bei dem Schliessen der Kette. Faraday hat zuerst genauer darauf hingewiesen, dass diese Erscheinung ihre Ursache in einer Induction hat, welche der primäre Strom des Schliessungsdrahtes auf den letzteren ausübt. Wie ein Strom, während er verschwindet, einen Strom von gleicher Richtung in jeder benachbarten Metallmasse erzeugt, so entsteht auch ein solcher Strom in dem Schliessungsdrahte der Kette selbst, und durch denselben wird, weil er gleiche Richtung mit dem ursprünglichen hat, die Wirkung des letzteren verstärkt. Ist der Schliessungsdraht zu einer Spirale aufgewunden, so entsteht bei der Unterbrechung des Stromes nicht nur durch Induction eine Verstärkung desselben, wie bei dem geraden Drahte, sondern es wird auch noch, wie man sagt, mit dem

*) Pogg. Ann. Bd. LIV. S. 323.

Verschwinden des elektrischen Stromes aus jeder einzelnen Windung ein Strom in der benachbarten Windung inducirt, und dadurch die Wirkung gesteigert. Befindet sich endlich in der Drahtrolle ein Stab aus weichem Eisen, so erlangt dadurch der inducirte Strom eine neue Verstärkung, weil das Eisen durch den umlaufenden Strom magnetische Polarität annimmt, deren Aufhören bei der Unterbrechung des Hauptstromes im Schliessungsdrahte einen Strom veranlasst, welcher gleiche Richtung mit dem inducirten hat.

Es gelten nun für diesen in dem Schliessungsdrahte der Kette auftretenden Inductionsstrom im Ganzen dieselben Gesetze, welche wir bereits in Hinsicht auf den in einer Nebenspirale inducirten Strom kennen gelernt haben. Auch bei ihm wird die Wirkung, und zwar aus denselben Gründen erhöht, wenn man in die schliessende Drahtrolle statt des massiven Eisenstabes ein Bündel isolirter Eisendrähte bringt. Man nennt diesen Inductionsstrom des Schliessungsdrahtes gewöhnlich den Extrastrom (Extracurrent). Eine solche Induction des Schliessungsdrahtes auf sich selbst hat Dove bekanntlich auch bei der Entladung einer Leidner Flasche dargethan.

Faraday vermuthete, dass wie bei dem Oeffnen eines Elektromotors, so auch bei dem Schliessen desselben entsprechende Effecte durch eine Spirale und einen Elektromagneten im Schliessungsbogen entstehen müssten. Diese Effecte werden im ersten Moment einen Widerstand erzeugen, also etwas dem Schlage und Funken Entgegengesetztes bewirken. Für die Nachweisung solcher Effecte hat Dove*) eine Vorrichtung angegeben. Nach ihm lässt sich ein elektrischer Strom, der entsteht oder dessen Intensität zunimmt, in jedem Augenblick als aus zwei Theilen bestehend betrachten, aus einem unverändert bleibenden Antheil und einem neu hinzukommenden, und ein Strom, dessen Intensität abnimmt, aus einem unverändert bleibenden und einem verschwindenden Antheile. Alsdann könne man das Inductionsgesetz, nach welchem ein primärer Strom bei seinem Beginne einen entgegengesetzt fließenden inducirt, bei seinem Aufhören einen ihm gleichgerichteten, allgemeiner so ausdrücken: ein primärer Strom inducirt, so lange sich seine Intensität steigert, einen entgegengesetzten, so lange sie abnimmt, einen gleichgerichteten secundären Strom. Nennt man nun Nebenstrom den von einem primären

*) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 251.

Strome in einem ihm parallelen, aber von ihm getrennten Drahte inducirten Strom, **G e g e n s t r o m** (Extracurrent) hingegen den in einem spiralförmigen Schliessungsdrahte mit oder ohne Eisenkern durch Wirkung jeder einzelnen Windung auf die zunächst liegenden hervortretenden secundären, sieht man also diesen Gegenstrom als einen speciellen Fall des Nebenstromes an, bei welchem nämlich ein und derselbe Draht den Weg abgibt für den primären Strom und den inducirten, so werden die für den Nebenstrom gefundenen Erscheinungen auch in Beziehung auf den Gegenstrom als wahrscheinlich vorausgesetzt werden können.

Nach Messungen von **E d l u n d** *) sind aber die bei dem Oeffnen und Schliessen der galvanischen Kette entstehenden Inductionsströme gleich gross, wenn die inducirende Stromstärke in beiden Fällen dieselbe ist.

Um eine rasche Folge von Inductionsströmen auf eine bequeme Weise hervorbringen zu können, hat man bekanntlich besondere Apparate, die man Inductionsmaschinen nennt. Man unterscheidet zwei Arten derselben, je nachdem die Induction durch das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus, welchen ein gewöhnlicher Magnet bewirkt, oder durch Anwendung eines galvanischen Stromes vollführt wird. Solche Apparate nun, bei denen ein Stahlmagnet die inducirende Wirkung ausübt, nennt man gewöhnlich **magnetelektrische Maschinen**.

S i n s t e d e n **) erhielt durch geeignete Isolirung einer kräftigen Saxton'schen Maschine dieser Art an den Enden der ungeschlossenen Inductionsspiralen auch freie Elektrizität von merklicher Spannung. Die mit dem positiven Ende des mehrere tausend Fuss langen Inductordrahtes verbundene Feder zeigte freie positive, die andere aber, welche mit dem zweiten Ende des Inductors in Verbindung stand, freie negative Elektrizität. Wurde die eine Feder mit der Erde leitend verbunden, so stieg die elektrische Spannung an der anderen. Die stärkste Spannung zeigte sich aber unmittelbar nach der Unterbrechung der Schliessung, indem hier der Inductionsstrom durch einen Extrastrom verstärkt wurde.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 161.

**) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 353.

74. Durch das Annähern eines Magnets an einen geschlossenen Leiter der Elektrizität wird also im letzteren ein Strom erregt, der aber nur von kurzer Dauer ist, selbst dann, wenn der Magnet in der Nähe des Leiters, ohne sich zu bewegen, verweilt. Dagegen tritt ein dem vorigen entgegengesetzter Strom auf, wenn der Magnet vom Leiter entfernt wird. Und denselben Erfolg, wie das Annähern und Entfernen eines Magnets, hat das Entstehen und Verschwinden des Magnetismus in der Nachbarschaft eines solchen Leiters; ein Vorgang, der mit dem vorhergehenden im Grunde auf Eins hinauskommt. Nun ist es aber höchst wahrscheinlich, dass der Magnet, so lange der Leiter sich in seiner Wirkungssphäre befindet, auf diesen fortdauernd, wenigstens im Wesentlichen, denselben Einfluss ausübt. Das blosse Verschwinden des Magnetismus kann aber bezüglich des Leiters keinen Erfolg haben, wenn nicht während der Dauer des Magnetismus im Leiter etwas geschieht, was bei dem Aufhören des Magnetismus eine Veränderung erleidet. Im Hinblick auf die Grunderscheinungen der Inductionselektrizität ergibt sich nun zunächst, dass der angenäherte Magnet durch seine Einwirkung auf den Leiter das elektrische Gleichgewicht in diesem aufhebt und dadurch eine Bewegung der Elektrizität in bestimmter Richtung, d. h. einen elektrischen Strom veranlasst. Der letztere verschwindet jedoch, sobald die Elemente des Elektriums in einen neuen Gleichgewichtszustand eingetreten sind. Dieser neue Gleichgewichtszustand ist aber ein dem natürlichen Zustande des Leiters fremdartiger, und erhält sich nur so lange, als der Einfluss des ruhenden Magnetismus andauert. Wird der magnetische Einfluss entfernt, so kehren die Elemente des Elektriums in die anfängliche Gleichgewichtslage zurück, was denn natürlich die Entstehung eines Stromes zur Folge hat, der seiner Richtung nach dem vorigen entgegengesetzt sein muss. Dieselben Vorgänge finden statt bei der Annäherung eines von Elektrizität durchströmten Leiters an einen andern geschlossenen Leiter, wo in dem letzteren durch die Wirkung des ersteren ebenfalls ein Strom entsteht, der sich in den entgegengesetzten verwandelt, wenn der eine Leiter von dem anderen entfernt wird.

Betrachtet man nun Elektrizität und Magnetismus als verschiedene Naturpotenzen, so geht dem ersten Anschein nach die Einheit der Erklärung für beide Arten der Induction, nämlich der magnet-elektrischen und der anderen, die man Volta-Induction nennt, verloren.

Sieht man aber den Grund des Magnetismus, mit der Ampère'schen Theorie, in elektrischen Strömen, welche die Massentheilchen des Eisens umkreisen, so hat man freilich ein gemeinsames Erklärungsprincip für beide Arten der Induction; allein ein solches ist auch dann vorhanden, wenn man annimmt, dass die Volta-Induction nicht durch den primären elektrischen Strom selbst, sondern vielmehr durch den Magnetismus bewirkt werde, welchen der genannte Strom in dem Schliessungsbogen der Kette erregt. Wenn nämlich die entgegengesetzt elektrischen Zustände innerhalb des Schliessungsdrahtes sich ausgleichen und darum weniger nach Aussen wirken, so entsteht in demselben eine von dem elektrischen Strome selbst unterschiedene magnetische Polarität mit freier Wirksamkeit nach Aussen, indem die ungleichartigen Elemente des Schliessungsdrahtes durch die Wirkung des Stromes nach entgegengesetzten Richtungen auseinander treten. Wie dies näher zu denken, ist im vorhergehenden Kapitel dieser Schrift dargelegt worden. Die magnetischen Kraftlinien nun, welche von dem Schliessungsdrahte ausgehen, streben in einem benachbarten Leiter dessen ungleichartigen Bestandtheilen eine solche Anordnung zu ertheilen, dass dieselbe der magnetischen Polarität des Schliessungsdrahtes im Sinne der gewöhnlichen magnetischen Vertheilung entspricht. Gleichzeitig hiermit erfahren aber auch die elektrischen Sphären, welche um die Massentheilchen des Leiters vorhanden sind, eine Störung in ihrer Gleichgewichtslage; es entsteht ein elektrischer Strom, der nun seinerseits den Bestandtheilen des Leiters eine bestimmte Richtung und damit magnetische Polarität zu verleihen strebt. Hierbei kann aber die Richtung des so veranlassten Stromes von der Art sein, dass die von ihm bewirkte Anordnung der Massentheilchen die entgegengesetzte von jener ist, welche durch die directe Wirkung der Magnetkraftlinien angestrebt wird. Hat nun die Wirkung des elektrischen Stromes über die letztgenannte Wirkung das Uebergewicht, so wird auch die von demselben angeregte Polarität der kleinsten Massentheilchen des Leiters hervortreten. Sobald jedoch die Elemente des Elektriums in den neuen Gleichgewichtszustand eingetreten sind, kehren die Massentheilchen des Leiters in ihre normale Position mehr oder weniger vollständig zurück, so dass dann auch ihr polares Verhältniss (unter den gewöhnlichen Umständen) bis zur Unmerklichkeit abnimmt. Wird jetzt die inducirende Kette geöffnet, so verschwindet mit dem Strome die magnetische Polarität des

Schliessungsdrahtes; die Wirkung der Magnetkraftlinien auf den benachbarten Leiter fällt fort, und weil nun die elektrischen Elemente des letzteren wieder in die anfängliche, stabile Gleichgewichtslage zurückkehren, so entsteht ein elektrischer Strom, der seiner Richtung nach dem ersten Inductionsstrome entgegengesetzt ist. Während dies nun geschieht, treten auch die ungleichartigen Bestandtheile der kleinsten Massentheilchen des Leiters wieder auseinander; sie erlangen von Neuem magnetische Polarität, die aber wegen der veränderten Richtung des Stromes und der davon abhängigen Drehung der Massentheilchen, die entgegengesetzte der vorigen ist, so dass denn jetzt auch die Nadel eines Galvanometers nach der anderen Seite abgelenkt wird.

Es wird nun klar sein, was wir darunter verstehen, wenn es heisst: dass durch das Verschwinden des Magnetismus ein elektrischer Strom inducirt werde. Wenn nämlich ein Magnet einem Leiter genähert wird, oder wenn in der Nähe des letzteren Magnetismus entsteht, so wird das Elektricum des Leiters durch die Einwirkung der Magnetkraftlinien nach einer bestimmten Richtung hin verschoben. Indem nun das Elektricum von einem Massentheilchen des Leiters zum andern übergeht, entsteht ein elektrischer Strom, welcher verschwindet, sobald zwischen den elektrischen Elementen wieder Gleichgewicht eingetreten ist. Dieser Gleichgewichtszustand ist aber nicht der gewöhnliche (natürliche), sondern ein durch den fortdauernden Einfluss des in der Nähe befindlichen Magnetismus bedingter. Wird die Intensität des letzteren gesteigert, so findet eine neue Verschiebung des Elektricums in dem anfänglichen Sinne statt, oder es entsteht ein neuer Inductionstrom von derselben Richtung, wie der vorhergehende. Wenn dagegen die Intensität des Magnetismus abnimmt, oder der letztere ganz verschwindet, so kehrt das Elektricum theilweise oder ganz in seine gewöhnliche Gleichgewichtslage zurück, und dies geschieht nothwendig in einer Richtung, welche derjenigen entgegengesetzt ist, in welcher dasselbe diese Gleichgewichtslage verlassen hat. Es entsteht also bei dem Verschwinden des Magnetismus ein elektrischer Strom, der seiner Richtung nach dem ersten Inductionstrom entgegengesetzt ist. Die Intensität der Bewegung aber, in welche das Elektricum durch das Verschwinden des inducirenden Magnetismus geräth, muss der zuvor stattgehabten Wirkung des letzteren vollkommen entsprechen, so dass bei dem Entstehen und Ver-

schwinden des Magnetismus entgegengesetzte Ströme von gleicher Intensität entstehen.

Befindet sich innerhalb einer Inductionsspirale in bekannter Weise ein Eisenstab, so nimmt dieser durch die directe Wirkung der Magnetkraftlinien, welche von der Schliessungsspirale der galvanischen Kette ausgehen, magnetische Polarität an. Dadurch entsteht nun ein neues System von Magnetkraftlinien, welche mit denen der Schliessungsspirale in demselben Sinne wirken, indem sie alle das Elektricum der Inductionsspirale nach einer bestimmten Richtung in Bewegung setzen. Mit dem Oeffnen der Kette fällt aber der Einfluss sämtlicher Magnetkraftlinien auf die Inductionsspirale fort, und die elektrischen Elemente der letzteren kehren dann, indem sie eine rückgängige Bewegung annehmen, sämtlich in derselben Richtung zu ihrer anfänglichen Gleichgewichtslage zurück. In dem speciellen Falle, wo die Inductionsspirale zugleich die Schliessungsspirale der Kette ist, wird der Eisenstab wie vorher zu einem Magneten, der nun seinerseits das Elektricum der Spirale zu einer Bewegung anregt, die bezüglich ihrer Richtung dem primären Strome entgegengesetzt ist. Bei dem Oeffnen der Kette erlischt die magnetische Polarität des Eisens, und die durch ihren Einfluss aus dem Gleichgewicht gebrachten Elemente des Elektricums bewegen sich nun in gleichem Sinne mit dem verschwindenden primären Strome, dessen Wirkung dadurch verstärkt wird, in die gewöhnliche Gleichgewichtslage zurück.

Wir haben nun hier noch einiger inducirender Einflüsse zu gedenken, durch welche die gewöhnlichen, zur Wahrnehmung kommenden Inductionerscheinungen in ihrem Auftreten beeinträchtigt werden. Die magnetischen Kraftlinien nämlich, welche von der Schliessungsspirale ausgehen und dem Eisenstabe magnetische Polarität verleihen, bringen zugleich die elektrischen Sphären um die Massentheilchen des Eisens aus dem Gleichgewichte. Dadurch entstehen denn auch in dem Eisenstabe, der einen in sich geschlossenen Leiter darstellt, elektrische Ströme, die ihrerseits den Massentheilchen des Eisens eine bestimmte Anordnung und damit eine Polarität zu ertheilen streben, welche der von den Magnetkraftlinien direct (der Schliessungsspirale) bewirkten entgegengesetzt ist (S. 193). Die directe Wirkung der Magnetkraftlinien hat aber bei dem Eisen das Uebergewicht über die Wirkung des inducirten elektrischen Stromes, weshalb diese letztere nur eine Schwächung der ersteren herbeiführen kann, eine Schwächung, die

überdies, falls die Elemente des Elektricums in einer neuen Gleichgewichtslage wirklich zur Ruhe kommen, nur vorübergehend ist. Durch das Oeffnen der Kette entsteht nun mit dem Wegfall der Magnetkraftlinien in der Schliessungsspirale und in Folge der hierdurch bedingten Rückkehr des Elektricums in die gewöhnliche Gleichgewichtslage ein neuer Inductionsstrom, dessen Richtung die entgegengesetzte des vorigen ist. Durch diesen Strom wird aber in den Massentheilchen des Eisens eine Polarität erzeugt, welche mit der von den Magnetkraftlinien der Schliessungsspirale bewirkten übereinkommt. Dadurch wird also das Verschwinden des bisher im Eisen vorhandenen Magnetismus verzögert, und daher auch der inducirende Einfluss, welcher bei dem Oeffnen der Kette durch den Wegfall dieses Magnetismus bedingt ist, vermindert. Ersetzt man aber den Eisenstab durch ein Bündel isolirter Eisendrähte, so werden diese störenden Inductionsströme entfernt.

Wir haben oben besonders hervorgehoben, dass die Unterschiede zwischen eisernen Stäben und eisernen Drahtbündeln nach Dove ihr Extrem erreichen, wenn das Magnetisiren derselben durch den Entladungsschlag einer Leidner Flasche geschieht. Eine Drahtspirale mit Eisenkern inducirt einen in allen seinen Wirkungen stärkeren Strom in einer sie umgebenden Nebenspirale, als die leere Drahtspirale ohne Eisenkern, wenn der galvanische Strom, welcher dieses Eisen magnetisirte, aufhört. Die inducirende Wirkung der von dem momentanen Strome einer sich entladenden Leidner Flasche durchflossenen leeren Spirale ist hingegen, was die physiologischen und elektroskopischen Wirkungen des Nebenstromes betrifft, grösser, als wenn ein massiver Eisenkern in derselben enthalten ist, hingegen kleiner als die, welche ein darin befindliches eisernes Drahtbündel hervorbringt.

In Bezug auf die Erklärung dieser Erscheinung reflectirt Dove auf einen gewissen Gegensatz, der zwischen den Wirkungen des zweiten im Eisen erzeugten Inductionsstromes und der verschwindenden magnetischen Polarität des Eisens besteht. Der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte zweite mit dem primären gleichgerichtete elektrische Strom im Eisen wirkt dem durch den verschwindenden Magnetismus erzeugten entgegen. Hatte nun, wie es bei galvanischem Magnetisiren der Fall ist, der Magnetismus während der längeren Dauer des primären Stromes Zeit, sich zu entwickeln, so überwiegt die Wirkung desselben die entgegengesetzte

des bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugten elektrischen. Ist hingegen der primäre Strom so schnell vorübergehend wie der einer sich entladenden elektrischen Batterie, hat also der Magnetismus nicht Zeit, sich vollständig zu entwickeln, so überwiegt der bei dem Aufhören des primären Stromes erzeugte elektrische die Wirkung des verschwindenden Magnetismus. Das Zerstören dieser elektrischen Ströme durch Auflösen der Masse in Drähte oder die Hemmung ihrer Bildung in einer schlechter leitenden Masse, wie bei dem Nickel, kehrt daher hier die Wirkung vollständig um, indem es den Ausschlag auf Seiten des verschwindenden Magnetismus bringt.

Dieselbe Erscheinung erklärt sich nun nach unserer Theorie folgendermassen. Die Schliessungsspirale, durch welche der Schlag der Leidner Flasche hindurchgeht, nimmt momentan magnetische Polarität an, die sich durch Vermittelung der Magnetkraftlinien auch auf den Eisenkern überträgt. Gleichzeitig entsteht aber auch in den Querschnitten des Eisens ein elektrischer Strom, der jener Polarität in der bereits (S. 195) angegebenen Weise entgegenwirkt. Dieser Strom verwandelt sich jedoch bald mit dem Aufhören des primären Stromes in der Spirale, in den entgegengesetzten, dem primären aber gleichgerichteten Inductionsstrom. Dadurch erlangt nun die an sich schwache, von jenen Magnetkraftlinien bewirkte Polarität des Eisens eine plötzliche Verstärkung, so dass nicht allein der inducirende Einfluss des verschwindenden Magnetismus auf die Nebenspirale wegfällt, sondern auch noch das Elektricum der letzteren zu einer Bewegung veranlasst wird, welche dem bei dem Aufhören des primären Stromes in dieser Spirale auftretenden Inductionsstrome entgegenwirkt. Wird aber die Eisenmasse in isolirte Drähte aufgelöst, so können in derselben jene Inductionsströme nicht zur vollen Entwicklung gelangen; es bleibt nur die von den Magnetkraftlinien der Schliessungsspirale direct bewirkte Polarität zurück, und zwar in verstärkter Masse, da die schwächende Wirkung des ersten Inductionsstromes nicht mehr entgegensteht. Und weil auch der zweite Inductionsstrom, welcher eine plötzliche Verstärkung der vorhandenen magnetischen Polarität in Eisen bewirkte, nicht hervortreten kann, so wird die letztere bei dem Oeffnen der galvanischen Kette momentan verschwinden, was ja bekanntlich eine nothwendige Bedingung ist, wenn der durch das Verschwinden des Magnetismus veranlasste inducirende Einfluss auf eine umschliessende Drahtspirale kräftiger hervortreten soll.

75. Die Theorie der diamagnetischen Erscheinungen ist nun im Vorstehenden schon enthalten, und wir haben nur noch einen bereits angedeuteten Schritt zu vollziehen, um dieselbe aus dem im vorigen §. Entwickelten hervortreten zu lassen.

Wenn die Kraftlinien, welche von den Polen eines Magnets ausgehen, auf irgend einen Körper treffen, so suchen sie in diesem eine dem Magneten entsprechende Anordnung der kleinsten Massentheilchen hervorzubringen. Dadurch erleiden denn auch die Sphären, welche das Elektricum um die Massentheilchen gebildet hat, eine Störung. Die elektrischen Elemente werden nämlich aus ihrer Gleichgewichtslage verschoben, und so entsteht, wenn der Körper einen in sich geschlossenen Leiter darstellt, ein elektrischer Strom. Nun kennen wir das bewegte Elektricum, dessen Elemente mit den Massentheilchen der Materie in unmittelbarer Wechselwirkung stehen, als ein sehr wirksames Mittel, um diesen Massentheilchen eine bestimmte Richtung und damit magnetische Polarität zu verleihen. Bei den Inductionsercheinungen ist aber die Richtung des zunächst auftretenden elektrischen Stromes von der Art, dass die von ihm bewirkte Anordnung der Massentheilchen die entgegengesetzte von jener ist, welche durch die directe Wirkung der magnetischen Kraftlinien angestrebt wird. Hat nun die letztere das Uebergewicht, oder ist die Gruppierung der kleinsten Massentheilchen in einem Körper so beschaffen, dass die ungleichartigen Elemente derselben leicht eine den Magnetpolen entsprechende Anordnung annehmen können, so erscheint dieser Körper magnetisch im gewöhnlichen Sinne. Ist dagegen das Uebergewicht auf Seiten des gleichzeitig aufgeregten Elektricums, so tritt die von dem elektrischen Strome bewirkte Anordnung der Massentheilchen entschiedener hervor, und der Körper ist dann ein diamagnetischer, insofern zwischen ihm und dem benachbarten Magnetpol (nach der S. 177 ff. angeführten Regel) eine Abstossung erfolgen wird.

Man weiss, dass Faraday einen besonderen Zustand der Leiter annahm,*) in welchem dieselben während ihres Verweilens in der Nähe eines anderen von Elektrizität durchströmten Leiters oder eines Magnets sich befinden sollten. Dieser Zustand, den Faraday den

*) Experimental Researches in Electricity (collected from the Philosophical Transactions). London 1839. p. 16.

elektrotonischen nannte, wurde insbesondere auf die Zwischenzeit bezogen, welche zwischen dem Schliessen und Oeffnen der inducirenden Kette oder dem Annähern und Entfernen des inducirenden Magnets verfließt. Ein solcher Zustand scheint nun in der That stattfinden zu müssen. Wir haben gleich im Anfange unserer Betrachtungen (S. 192) die Wahrscheinlichkeit hervorgehoben, dass der Magnetismus, so lange der Leiter sich in seiner Wirkungssphäre befindet, auf diesen fortdauernd denselben Einfluss ausübe, und dass auch das Verschwinden des Magnetismus allein in Hinsicht auf den Leiter keinen Erfolg haben könne, wenn nicht während der ganzen Dauer des Magnetismus im Leiter etwas geschehe, was bei dem Aufhören des Magnetismus eine Veränderung erleide. Alsdann sprachen wir von einem neuen Gleichgewichtszustande, in welchen die Elemente des bewegten Elektriums eintreten müssten, nachdem sie die erste Einwirkung des Magnetismus empfangen hätten. Dieser neue Gleichgewichtszustand sei aber ein dem natürlichen Zustande des Leiters fremdartiger, und erhalte sich nur so lange, als der Einfluss des ruhenden Magnetismus andauere. Werde der magnetische Einfluss entfernt, so würden die Elemente des Elektriums in die anfängliche (gewöhnliche) Gleichgewichtslage zurückkehren, was denn die Entstehung eines Stromes zur Folge habe, der seiner Richtung nach dem vorigen entgegengesetzt sein müsse. Der diamagnetische Zustand der Körper ist nun wahrscheinlich eben dieser Mittelzustand, welcher in den betreffenden Körpern zwischen dem ersten und zweiten Inductionsstrome vorhanden ist.

Durch den ersten Impuls, welchen die Massentheilchen von Seiten der Magnetkraftlinien empfangen, wird eine Störung des elektrischen Gleichgewichts herbeigeführt, dergestalt, dass ein Uebergang des Elektriums von einem Massentheilchen zum anderen erfolgt. Damit erlangen denn die Massentheilchen in der angegebenen Weise Polarität, welche die diamagnetische Abstossung zur Folge hat. Die Elemente des Elektriums streben nun zwar fortdauernd zum Gleichgewichte hin, ohne dass sie aber, so lange sie dem inducirenden Einflusse ausgesetzt sind, in die anfängliche Gleichgewichtslage zurückkehren können. Es stellt sich deshalb ein neuer Gleichgewichtszustand her, der erst mit der inducirenden Ursache aufhört. Während dies geschieht, suchen nun auch die Massentheilchen des Körpers ihre gewöhnliche Position wieder zu gewinnen, können dieselbe

jedoch eben so wenig als die Elemente des Elektricums die ihrige vollständig erreichen. Jene Polarität besteht daher, obgleich in geringerem Masse, fort, und dieselbe wird auch, falls die inducirende Ursache mächtig genug ist, unter sonst geeigneten Umständen zu Tage treten. So folgen die diamagnetischen Erscheinungen mit Nothwendigkeit aus dem aufgestellten Grundprincipe. Es ist aber hier, wo die Elektricität die Polarität der Massentheilchen bloß veranlasst, indem sie den letzteren eine bestimmte Richtung verleiht, sehr wohl möglich, dass die Wirkung die Ursache überdauert, so dass dieselbe auch dann noch fortbestehen kann, wenn die Elemente des Elektricums in der neuen Gleichgewichtslage wirklich zur Ruhe gelangen sollten. Man wird hier an die Thatsache*) erinnert, dass der Schliessungsbogen einer Volta'schen Säule oder selbst der einfachen Kette oft, wenn er aus dem Schliessungskreise genommen ist, noch eine Zeitlang magnetische Wirkungen äussert, so dass er die Nadel abzulenken und selbst noch Eisen anzuziehen vermag. Das Electricum wird jedoch keineswegs in dem neuen Gleichgewichtszustande unwirksam sein, sondern vielmehr die Massentheilchen in der einmal erlangten polaren Stellung festzuhalten streben, so lange bis es selbst eine rückgängige Bewegung annimmt. Es lässt sich aber denken, dass diese polare Stellung der Massentheilchen auch dann schon hervortritt, wenn die elektrischen Sphären, vermöge der Einwirkung der Magnetkraftlinien, eine blosse Verschiebung im Sinne des ersten Inductionsstromes erfahren, wie dies bei den schlechten Leitern der Elektricität wohl vorkommen mag.

Magnetismus und Diamagnetismus sind also im Wesentlichen durchaus dasselbe. Der einzige Unterschied liegt nur in der entgegengesetzten Anordnung der kleinsten Massentheilchen der Materie, und etwa noch in der verschiedenen Entstehungsweise beider, was jedoch ein mehr äusserlicher Umstand ist. Wenn aber die directe Wirkung der Magnetkraftlinien auf die Massentheilchen und die elektrische Action (Intensität des Stromes) nicht in gleichem Masse wachsen, so wird auch unter besonderen Umständen die eine Wirkung über die andere das Uebergewicht erlangen können, oder mit anderen Worten: es kann der Magnetismus in Diamagnetismus oder dieser in

*) Fechner, Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie. Leipzig 1829. S. 154. 276.

jenen übergehen, je nachdem die inducirende Kraft wächst oder abnimmt. Es ist nun bekannt, dass der Magnetismus bei fortwährender Steigerung des magnetisirenden Einflusses sich einer gewissen Grenze nähert, während der Diamagnetismus, wie es scheint, in's Unbestimmte der inducirenden Kraft, die auf den diamagnetischen Körper wirkt, proportional wächst. Sind jedoch Magnetismus und Diamagnetismus wesentlich dasselbe, so ist es wohl sehr wahrscheinlich, dass auch für den Diamagnetismus bei fortgesetzter Steigerung der inducirenden Kraft ein gewisser Gränzwert existirt, der aber für ihn viel später als für den Magnetismus eintritt.

W. Weber*) hat darauf aufmerksam gemacht, dass die gewöhnlichen Inductionsströme zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen aus dem einzigen Grunde nicht ausreichen, weil sie momentan wieder verschwinden, während doch die diamagnetische Ablenkung dauernd ist, so lange der betreffende Körper unter dem Einflusse des Magnets steht. Diese Bemerkung trifft jedoch, wie ich glaube, nur dann zu, wenn man den oben betrachteten Mittelzustand zwischen den beiden gewöhnlichen Inductionsströmen ausser Acht lässt. Weber nimmt zur Erklärung besagter Erscheinungen inducirte Molecularströme an, welche um die einzelnen Molecüle stattfinden und ungeschwächt fortdauern sollen, während die in grösseren Kreisen sich bewegenden elektrischen Ströme beim Vorübergehen an den Molecülen (Massentheilchen) des Leiters ihre lebendige Kraft schnell verlieren und daher in sehr kurzer Zeit zur Ruhe gelangen. Derartige Molecularströme sind nun auch mit unserer Theorie sehr wohl verträglich. Wenn die Kraftlinien eines Magnetpols auf die elektrischen Sphären eines Körpers wirken und dieselben nach einer gewissen Richtung hin verschieben, so mögen die letzteren dadurch zu einer Drehung um die Massentheilchen (ihre Centralpunkte) veranlasst werden; eine Bewegung, die so lange dauert, als der Körper der Einwirkung des Magnetpols ausgesetzt ist. Durch diese drehende Bewegung des Elektricums können aber die Bestandtheile der Molecüle eben so wohl und zwar in demselben Sinne gerichtet werden, als durch das in grösseren Kreisen strömende Elektricum, falls die Bewegungsrichtung im Allgemeinen dieselbe ist. Und auch hier möchte es am einfachsten sein, wenn man nur ein elektrisches Fluidum

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 241.

annimmt, dessen Elemente die Molecüle der Materie in der Form von Sphären einhüllen. Diese Sphären empfangen von Seiten der Magnetkraftlinien einen Antrieb zur Bewegung nach einer bestimmten Richtung, und während nun ein Theil der elektrischen Elemente von einem Molecül zum anderen übergeht und den gewöhnlichen Inductionsstrom bildet, geräth gleichzeitig der andere Theil in eine Drehung um die Molecüle selbst. Bei einem schlechten Leiter der Elektrizität aber, um dessen Molecüle sich die elektrischen Elemente beharrlicher gruppiert haben, ist es möglich, dass die elektrischen Sphären nur in eine drehende Bewegung um die Molecüle gerathen. Die magnetischen Kraftlinien suchen nämlich auch hier, während ihre Wirkung auf die Molecüle des Körpers gerichtet ist, die elektrischen Sphären nach einer bestimmten Seite hin zu verschieben. Ist nun der Uebergang des Elektricums von einem Molecül zum anderen erschwert, so gerathen die Sphären blos in eine Rotationsbewegung, indem sie gewissermassen von zwei Kräften angeregt sind, nämlich von einer tangentialen, welche die magnetischen Kraftlinien ausüben, und von einer centralen in Folge der Anziehung zwischen den Molecülen des Körpers und den Elementen des Elektricums, vermöge deren die letzteren in ihre Gleichgewichtslage zurückzukehren streben.

76. Nach Weber haben jedoch die eben betrachteten elektrischen Molecularströme eine andere Bedeutung, indem sie im Sinne der Ampère'schen Theorie des Magnetismus zur Erklärung der diamagnetischen Erscheinungen benutzt werden. In den der gewöhnlichen magnetischen Vertheilung fähigen Körpern (z. B. im Eisen) werden bekanntlich die schon vorhandenen Molecularströme durch die Wirkung eines Magnetpols einander parallel und den Molecularströmen des Magnets mehr oder weniger gleich gerichtet, woraus dann Anziehung folgt. Dagegen sollen in den sogenannten diamagnetischen Körpern durch den Magnetpol beharrliche Molecularströme inducirt werden, welche im Vergleich mit den inducirenden Strömen des Magnets entgegengesetzte Richtung haben, so dass denn die diamagnetische Abstossung vermöge der Wechselwirkung entgegengesetzter elektrischer Ströme resultirt. Diese inducirten Molecularströme unterliegen aber, sobald sie hervorgetreten sind, der anziehenden oder abstossenden und richtenden Wirkung der Molecularströme des Magnets eben so gut, als dies von den im Eisen ohne vorgängige Induction vorhandenen Molecularströmen gilt. Dieselben

würden also kraft dieses Einflusses mit den Molecularströmen des Magnets gleiche Richtung annehmen, was wieder den magnetischen Zustand der betreffenden Körper zur nothwendigen Folge haben müsste. Es muss deshalb ein beliebiges Hinderniss für die Drehung der Körpertheilchen und der damit verbundenen inducirten Molecularströme angenommen werden, damit die letzteren in der einmal erlangten Richtung beharren, ein Hinderniss, das jedoch nicht die Entstehung der Ströme betrifft. Der Diamagnetismus erfordert nun nach dieser Ansicht noch die Annahme, dass die Molecüle (z. B. des Wismuths) bestimmte in sich zurücklaufende Bahnen (oder Canäle) enthalten, in denen die elektrischen Fluida ohne Widerstand beweglich sind, während diese Fluida in allen anderen Bahnen nur mit Ueberwindung eines ihrer Geschwindigkeit proportionalen Widerstandes sich bewegen können*).

Will man also die diamagnetischen Erscheinungen wie die magnetischen auf die Wechselwirkung elektrischer Massen, der Ampère'schen Theorie gemäss, zurückführen, so muss (wie man auch sonst die Sache fassen mag) die Wechselwirkung zwischen den elektrischen Strömen, welche die Massentheilchen des Magnets umkreisen, und den beiden entgegengesetzten elektrischen Fluidis, die im Gleichgewichte um die Molecüle der betreffenden Körper vorhanden sind, von der Art sein, dass in den letzteren elektrische Ströme entstehen, deren Richtung mehr oder weniger entgegengesetzt ist der Richtung der elektrischen Ströme im Magneten. Ist dagegen ein Stück Eisen in der Nähe des Magnets, so werden die in jenem schon vorhandenen Ströme, welche um die verschiedenen Massentheilchen in allen möglichen Richtungen kreisen, von den Molecularströmen des Magnets mehr oder minder parallel zueinander gedreht, dergestalt, dass sie mit diesen mehr oder weniger gleiche Richtung erhalten. In beiden Fällen ist also die Wechselwirkung zwischen denselben elektrischen Massen von entgegengesetzter Art, ohne dass man dafür, wie mir scheint, einen befriedigenden Grund anzuführen wüsste. Es scheint hier wirklich etwas Widersprechendes in der Ampère'schen Theorie obzuwalten, in so fern dieselben elektrischen Ströme, welche den

*) Elektrodynamische Massbestimmungen, insbesondere über Diamagnetismus, in den Abhandlungen der königl. sächs. Soc. der Wissenschaften, 1852; Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 145. 152.

Pol eines Magnets darstellen, entgegengesetzte Actionen auf dieselben elektrischen Massen in verschiedenen Körpern ausüben. Die materielle Verschiedenheit der letzteren kann diesen Unterschied wohl nicht allein begründen, da die ganze Theorie sich fast ganz auf die Wechselwirkung elektrischer Massen bezieht, und ihren eigenthümlichen Charakter grossentheils verlieren würde, wenn sie auf die materielle Verschiedenheit der Körper vorzugsweise das Gewicht legen wollte. Es scheint auch dieser Widerspruch (bezüglich der Wirkungsweise Eines Magnetpols) schon bei einem und demselben Körper stattzufinden, da ja bekanntlich auch bei dem Magnetisiren des Eisens durch einen Magneten elektrische Ströme (von geringerer Intensität) nach dem gewöhnlichen Inductionsgesetze hervorgebracht werden. Die Molecularströme des betreffenden Magnetpols bringen also nicht allein die im Eisen vorhandenen Ströme mit sich selbst in gleiche Richtung, sondern induciren auch gleichzeitig entgegengesetzt gerichtete Ströme. Der Widerspruch in der Wirkung desselben Magnetpols auf verschiedene Körper lässt sich aber nicht einfach dadurch beseitigen, dass man etwa sagt: im Eisen seien die Molecularströme schon vorhanden und würden von denen des Magnets nur in gleiche Richtung mit diesen gedreht, während die entgegengesetzt gerichteten Ströme (z. B. im Wismuth) erst inducirt würden, welche dann wegen der Unbeweglichkeit der Wismuththeilchen in der einmal angenommenen Richtung beharrten. Es würde vielmehr genauer zu erklären sein, warum hier die Wechselwirkung zwischen denselben elektrischen Massen von entgegengesetzter Beschaffenheit ist, da es den Anschein hat, als ob diese Wechselwirkung von der Art sein müsste, dass die Molecularströme des Magnets in anderen Körpern entweder nur gleichgerichtete oder blos entgegengesetzt gerichtete Ströme zu erzeugen strebten.

Nach unserer Theorie bringen die magnetischen Kraftlinien, welche von den Polen eines Magnets ausgehen, eine Störung in den elektrischen Sphären der Massentheilchen hervor, während sie den Bestandtheilen der letzteren eine dem Magneten entsprechende Anordnung zu geben suchen. Indem nun das bewegte oder zur Bewegung angeregte Elektricum seinerseits den Massentheilchen eine bestimmte Richtung zu ertheilen sucht, die bezüglich der Inductionsercheinungen die entgegengesetzte von derjenigen ist, welche die Magnetkraftlinien direct den Bestandtheilen der Molecüle zu geben

streben; so wird dadurch mittelbar ein gewisser Gegensatz zwischen den Wirkungen des Magnetismus und der Elektricität hervorgerufen, der aber keinesfalls als Widerspruch an der Wirkung desselben Magnetpols haftet, sondern nur die nothwendige Folge des gewissermassen zufälligen Umstandes ist, dass die Magnetkraftlinien während ihrer Wirkung auf die Massentheilchen der Materie zugleich eine Störung der elektrischen Sphären veranlassen, welche sich aus ihrer Gleichgewichtslage entfernen müssen. Ein Widerspruch kann überhaupt nur dann vorhanden sein, wenn man einer und derselben Kraft entgegengesetzte Thätigkeiten (Anziehung und Abstossung) auf ein und dasselbe Object zuschreibt. Nimmt man z. B. zwei entgegengesetzte magnetische Fluida an, welche um die Molecüle der Materie im Zustande der Indifferenz vorhanden sind, so können dieselben durch die Einwirkung eines Magnetpols so getrennt werden, dass dem letzteren das ungleichartige Fluidum zugekehrt und das gleichartige von ihm abgewendet ist. Wollte man nun sagen, dass bei einem sogenannten diamagnetischen Körper die Scheidung beider Fluida in entgegengesetzter Weise geschehe, indem derselbe Magnetpol das gleichartige Fluidum heranziehe, und das entgegengesetzte zurückstosse, so würde man sich ohne Zweifel mitten im Widerspruche befinden. So etwas scheint nun aber auch bei der Ampère'schen Theorie stattzufinden, wenn man zwischen denselben elektrischen Massen Wechselwirkungen gelten lässt, die einmal gleichgerichtete und dann wieder entgegengesetzte elektrische Ströme im Vergleich zu denen im Magneten hervorbringen.

Unter der Volta-Induction versteht man bekanntlich die Erregung elektrischer Ströme in einem Leiter, der dem Einflusse eines anderen von Elektricität durchströmten Leiters unterworfen ist, wie dies stattfindet, wenn ein von einem galvanischen Strome durchflossener Draht in die Nähe eines anderen zu ihm parallelen Drahtes kommt. Will man nun diese Induction auf die directe Wirkung elektrischer Massen zurückführen, so ist zunächst zu bedenken, dass ungleichartige elektrische Massen in jedem Querschnitte des galvanischen Schliessungsdrahtes sich von entgegengesetzten Seiten her begegnen. In jedem gerade gegenüberbefindlichen Querschnitte des benachbarten Drahtes, der beide elektrische Fluida im Zustand des Gleichgewichts enthält, wird dann das ungleichartige Fluidum angezogen, das gleichartige dagegen abgestossen, so dass also in diesem Drahte

die Lagerung der geschiedenen Elektricitäten die entgegengesetzte derjenigen ist, welche im inducirenden Drahte statthat. So entsteht denn in dem benachbarten Drahte allerdings ein dem inducirenden Strome entgegengesetzt gerichteter Strom, in Uebereinstimmung mit der von F e c h n e r gegebenen Regel, die also lautet: Wenn man ein Stromtheilchen (das aus beiden Fluidis zugleich besteht) einem unelektrischen Körper, z. B. einem Drahte nähert, so ist in diesem positive und negative Elektricität (im Gleichgewichte) vorhanden. Die gleichartige Elektricität wird alsdann nach entgegengesetzter Richtung, die ungleichartige nach gleicher Richtung in Bewegung gesetzt. Wenn jedoch diese Scheidung beider Fluida im Nebendrahte nur dadurch bewirkt wird, dass jede elektrische Masse im inducirenden Drahte die eine Elektricität des Nebendrahtes anzieht und die andere abstösst, wonach in beiden Drähten überall die ungleichartigen Elektricitäten einander gegenüber zu liegen kommen; so sollten beide Drähte, schon nach dem bekannten Gesetze der elektrischen Influenz, einander anziehen. Es findet aber erfahrungsmässig eine Abstossung statt, und dies scheint anzudeuten, dass dieselbe nicht in einer Wechselwirkung elektrischer Massen, sondern vielmehr in etwas Anderem ihre Ursache habe. Was wir aber unter dem letzteren verstehen, ist bereits näher angegeben worden. Es sei uns hier nur noch die Bemerkung verstattet, dass die von W e b e r aufgestellte Formel*) für die Volta-Induction, unbeschadet ihres sonstigen Werthes, keinen Beweis liefert, dass diese Induction lediglich die Folge einer Wechselwirkung elektrischer Massen sei. Dagegen steht das inducirende Princip wohl ohne Zweifel in einer bestimmten Beziehung zu den in jener Formel vorkommenden Grössen, und dasselbe wird darum auch in Hinsicht auf seine Wirkung in derselben Formel einen Ausdruck finden können.

Wenn aber auch alle diese Bedenken vielleicht beseitigt werden könnten, so würde immer noch viel Widerstrebendes in der Annahme von Molecularströmen bleiben, welche die Massentheilchen des Eisens ewig umkreisen sollen, so lange nämlich, bis eine elektromotorische Ursache, welche die Strömung fortdauernd erhält, theoretisch nachgewiesen ist. Sonst müssen nach unserer erfahrungsmässigen Kennt-

*) Abhandl. bei Begründ. der königl. sächs. Gesellsch. d. W. S. 305; Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 219.

niss der Elektrizität die beiden entgegengesetzt elektrischen Zustände, welche in jedem einmal entstandenen Molecularstrome sich begegnen, zur Ausgleichung gelangen, selbst dann noch, wenn ein solcher Strom auf seiner Bahn auch nicht den geringsten Widerstand findet. Dagegen können die in Folge einer äusseren Ursache inducirten Molecularströme (S. 200) so lange beharren, als diese Ursache ihren Einfluss geltend macht.

77. Es ist bekannt, dass manche Physiker zu der Ansicht von einer gewissen indifferenten Abstossung zwischen den Magnetpolen und den sogenannten diamagnetischen Körpern hinneigen. Diese Meinung möchte wohl nicht gerade ohne Weiteres zu verwerfen sein. Wenn nämlich die Magnetkraftlinien aus den Elementen des Aethers bestehen, welcher die Massentheilchen umgibt, so lässt sich allenfalls denken, dass diese Linien auf den Aether benachbarter Körper eine gewisse Wirkung ausüben, die sich als Bewegung auf die Massentheilchen überträgt. Dabei muss man jedoch die Möglichkeit zurückweisen, dass die Bestandtheile der sogenannten diamagnetischen Substanzen mit denen der magnetischen (durch Vermittelung der Magnetkraftlinien) ein Verhältniss der Anziehung und Abstossung eingehen können, das diese beiden Actionen gleichzeitig umfasst; denn ein solches Verhältniss würde zu einer Polarität der Massentheilchen führen. Nun haben aber die bekannten Versuche*), welche von Weber, Reich, Poggendorff und Plücker ausgeführt worden sind, wenigstens in hohem Grade wahrscheinlich gemacht, dass auch die sogenannten diamagnetischen Körper unter denselben Umständen wie die magnetischen eine wirkliche, wenn gleich verhältnissmässig sehr schwache Polarität annehmen, bei der nur die Pole in der umgekehrten Lage sich befinden. So erscheint z. B. ein Wismuthstab innerhalb einer Spirale, durch welche ein galvanischer Strom fliesst, als ein vollständiger Magnet, dessen Pole im Vergleich zu einem hineingesteckten Eisenstabe die umgekehrten sind. Und ein Versuch Plücker's**) scheint sogar darauf hinzudeuten, dass das Wismuth nicht nur in der Nähe eines Magnetpols polarisch werde, sondern auch seine Polarität, nachdem die Erregung aufgehört hat, noch eine

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 60. 241. 475. 613. Bd. LXXXVI. S. 1. Bd. LXXXVII. S. 145. 168.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 6.

Zeitlang behalte, oder dass das Wismuth Zeit gebrauche, um seine Pole umzukehren.

Vom Standpunkte der Theorie aus erscheint endlich eine wirkliche Polarität der diamagnetischen Körper fast als eine nothwendige Forderung, wenn es gewiss ist, was man bisher nicht bezweifelt hat, dass nämlich alle Leiter der Elektrizität, so lange sie von einem elektrischen Strome durchflossen werden, magnetisch polar sind. Dann wird eine solche Polarität nothwendig auch da vorkommen, wo durch den Magnetismus in einem Leiter elektrische Ströme inducirt werden, deren Richtung überdies von der Art ist, dass zwischen dem Leiter und dem betreffenden Magnetpol eine Abstossung erfolgen muss. Die Schwierigkeiten aber, welche hier die sogenannten Nichtleiter der Elektrizität etwa darbieten könnten, möchten sich in der bereits angegebenen Weise genügend beseitigen lassen.

Handwritten text block, likely the beginning of a paragraph.

Main body of handwritten text, consisting of several lines of cursive script.

Cornelius, Carl Sebastian

Die Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus Versuch e. theoret.
Ableitung d. gesammten magnet. u. elektrischen Erscheinungen

Leipzig 1855

Phys.sp. 155 sf

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10133553-2